



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## KONSTRUKCE PNEUMATIK

CONSTRUCTION OF TIRES

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Filip Dlouhý

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lubor Zháňal, Ph.D.

BRNO 2021



## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Student: Filip Dlouhý

Studijní program: Strojírenství

Studijní obor: Stavba strojů a zařízení

Vedoucí práce: Ing. Lubor Zháňal, Ph.D.

Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### KONSTRUKCE PNEUMATIK

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je sestavení přehledu a porovnání konstrukce pneumatik pro vozidla různých kategorií (nákladní, osobní, závodní a jednostopé).

#### Cíle bakalářské práce:

Historický vývoj konstrukce pneumatik.

Funkce pneumatiky na vozidle a její vliv na jízdní vlastnosti.

Značení pneumatik.

Porovnání jednotlivých konstrukčních provedení z hlediska výroby, provozních vlastností a jízdních výkonů.

Odhad budoucího vývoje.

#### Seznam doporučené literatury:

VLK, F. Dynamika motorových vozidel /. Vyd. 2. Brno: Prof.Ing.František Vlk,DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006, 432 s. ISBN 80-239-0024-2.

MILLIKEN, W., MILLIKEN, D. Race Car Vehicle Dynamics. 1st edition. Warrendale: SAE, 1995. 857 s. ISBN 1-56091-526-9.

GILLESPIE, T. D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1992. 519 s. ISBN 1-56091-199-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je obecné shrnutí funkce, konstrukce, historie a srovnání pneumatik jednotlivých kategorií vozidel. Srovnání je zaměřeno na funkce a použití pneumatik. Součástí je nastínění moderních trendů a budoucího vývoje pneumatik.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Pneumatika, konstrukce pneumatiky, značení pneumatiky, pneumatiky nákladních vozidel, pneumatiky osobních vozidel, pneumatiky jednostopých vozidel, pneumatiky závodních vozidel

## ABSTRACT

The intention of this bachelor's thesis is a general summary of the function, construction, history, and comparison of tires of individual vehicle categories. The comparison focuses on the functions and uses of tires. It includes an outline of modern trends and future development of tires.

## KEYWORDS

Tire, construction of tire, marking tires, truck tires, passenger car tires, wheelers tires, racing vehicle tires

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DLOUHÝ, F. *Konstrukce pneumatik*. Brno, 2021. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 55 s. Vedoucí diplomové práce Lubor Zháňal.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Lubor Zháňal, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 21. května 2021

.....

Filip Dlouhý

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Luboru Zháňalovi, Ph.D. za umožnění tohoto tématu, připomínky, poskytnuté rady a spolupráci při tvorbě této práce.

Chtěl bych také poděkovat celé své rodině a přítelkyni za plnou podporu a trpělivost při psaní této bakalářské práce.



# OBSAH

<b>Úvod .....</b>	<b>11</b>
<b>1 Pneumatiky.....</b>	<b>12</b>
1.1 Historie pneumatik.....	12
1.1.1 Vulkanizace .....	13
1.1.2 Historie konstrukce pneumatik.....	13
1.1.3 Historie kordu pláště.....	14
1.2 Charakteristika a funkce pneumatiky.....	14
1.3 Síly působící na kola vozidel .....	15
1.4 Směrové charakteristiky pneumatik.....	16
1.4.1 Boční síla .....	16
1.4.2 Úhel směrové úchyly .....	16
1.4.3 Skluz .....	17
1.5 Jízdní odpory.....	17
1.5.1 Valivý odpor.....	17
1.6 Konstrukce pneumatiky .....	18
1.6.1 Běhoun.....	18
1.6.2 Bočnice .....	19
1.6.3 Kostra pláště .....	19
1.6.4 Nárazník.....	21
1.6.5 Patka .....	22
1.6.6 Patní lanko .....	22
1.6.7 Vnitřní guma.....	22
1.7 Konstrukce desénu.....	22
<b>2 Značení pneumatik .....</b>	<b>25</b>
2.1 Základní rozměry a značení .....	25
2.2 Nové štítky pneumatik .....	28
2.3 Indikátor opotřebení TWI .....	29
<b>3 Srovnání jednotlivých konstrukčních provedení.....</b>	<b>30</b>
3.1 Pneumatiky nákladních strojů, vozidel a dopravních prostředků .....	30
3.1.1 Nákladní automobily a autobusy .....	31
3.1.2 Zemědělské stroje .....	33
3.1.3 Stavební a těžební stroje .....	34
3.1.4 Letadlové pneumatiky .....	35
3.2 Pneumatiky osobních automobilů.....	36
3.3 Pneumatiky závodních vozidel .....	39
3.4 Pneumatiky jednostopých vozidel .....	41
3.4.1 Rozdíly pneumatik pro jednostopá vozidla .....	42
<b>4 Moderní technologie a budoucí vývoj pneumatik .....</b>	<b>45</b>
4.1 Bezvzduchové pneumatiky .....	45
4.2 Taraxagum .....	46
4.3 ContiSilent .....	46
4.4 Goodyear Eagle – 360.....	46
4.5 Tiltread.....	47

4.6 Goodyear reCharge.....	48
<b>Závěr .....</b>	<b>49</b>
<b>Seznam použitých zkratek a symbolů .....</b>	<b>54</b>
<b>Seznam použitých obrázků .....</b>	<b>55</b>

## ÚVOD

Pneumatiky v dnešní době najdeme takřka na celém světě a v automobilovém průmyslu se bez nich zatím nedá obejít. Také jsou jedinou součástí dopravního prostředku ve styku s vozovkou, které hojně ovlivňují jízdní vlastnosti. Postupem času, jak se pneumatiky stále vyvíjí, se nároky na konstrukci a jízdní vlastnosti zvyšují. V dnešní době je požadována vysoká životnost s co nejmenším valivým odporem, odolnost vůči mechanickému poškození, aby zvládaly vysoké rychlosti a měly dokonalé adhezní a brzdné účinky. S tím vším souvisí konstrukce a provedení pneumatiky, jimiž se v této práci budu zabývat.

Hlavní zaměření je především na všeobecné shrnutí konstrukce plášťů, jejich značení a porovnání v několika ohledech pro různé kategorie vozidel. Lehce nastíněny budou moderní trendy a možný budoucí vývoj pneumatik.

# 1 PNEUMATIKY

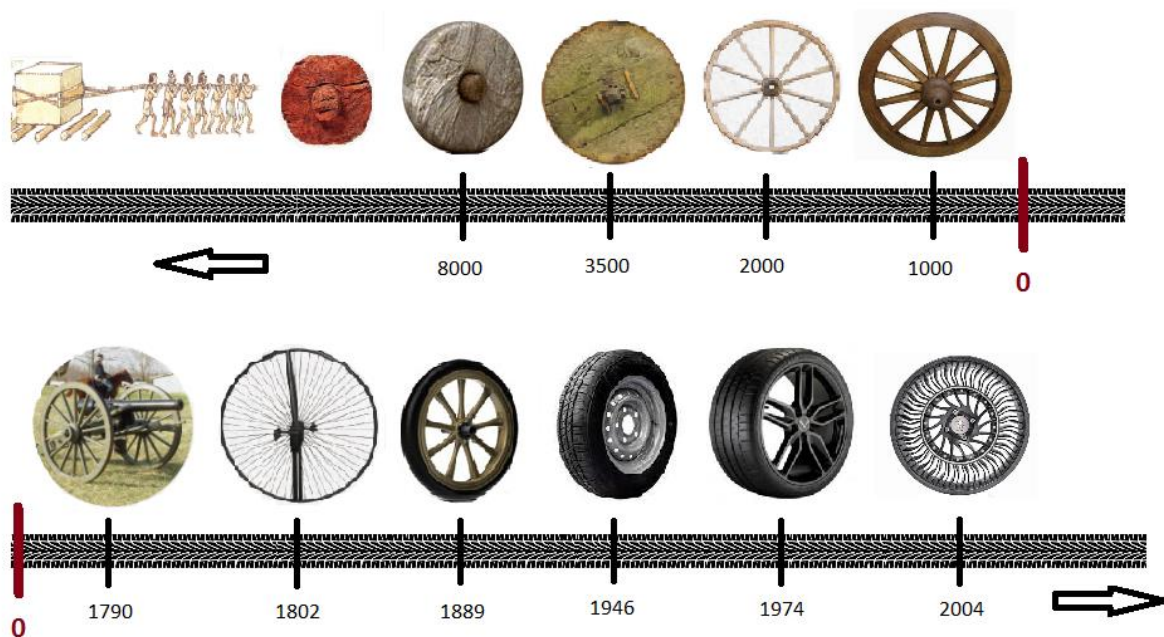
V dnešní době jsou pneumatiky nedílnou součástí většiny automobilů, či jiných dopravních prostředků, ve spojení s vozovkou.

Pneumatika neboli plášť, jak ji označujeme dnes, je vzduchem přeplněná pružná část kola, připomínající tvar toroidu, která je nasazena na vnějším obvodu ráfku (disku). Hlavním významem pneumatik je přenos sil mezi automobilem a vozovkou, čemuž napomáhá samotná konstrukce pneumatiky, která značně ovlivňuje jízdní vlastnosti, bezpečnost, rychlost a komfort z jízdy. [2]

## 1.1 HISTORIE PNEUMATIK

Úplně první kola, které alespoň částečně lze označit jako objekty kruhovitěho tvaru, nebyla využívána k přepravování, ale pouze třeba jako hrnčířské kruhy. K přepravě těžkých a velkých předmětů byly nejprve využívány válcovité kmeny stromů. Nejstarší dřevěné kolo, které se našlo konkrétně v Mezopotámii, bylo pravděpodobně vyrobeno Sumery a je považováno za více než 5 tisíc let staré. Nejstarší kola byla vyráběna ze dřeva, kamení a často byla spojena na pevně s osou hřídele. [42]

Předpokládá se, že kolem roku 3200 př. n. l. se poprvé kola použila pro přepravu na dobových vozech, jako je třeba trakař. Pro potřebu vyšší rychlosti a lepší manévrovatelnosti, vytvořili Egypťané loukoťové kolo, kolem roku 2000 př. n. l., které se používalo především na kočárech a povozech. Kolem roku 1000 př. n. l. došlo k vylepšení loukoťových kol železným ráfkem na obvodu kolem nich, pro větší sílu kladenou na ně. Poté se kola dlouho nevyvíjela až do roku 1802, kdy si G. F. Bauer nechal patentovat paprskové drátěné kolo. Nejvýznamnějších změn se však kolo dočkalo až roku 1845, kdy byl udělen patent Robertu Williamu Thomsonovi za „vzduchovou hadici“. V této době však vynález nedosáhl uplatnění. [4] [42]



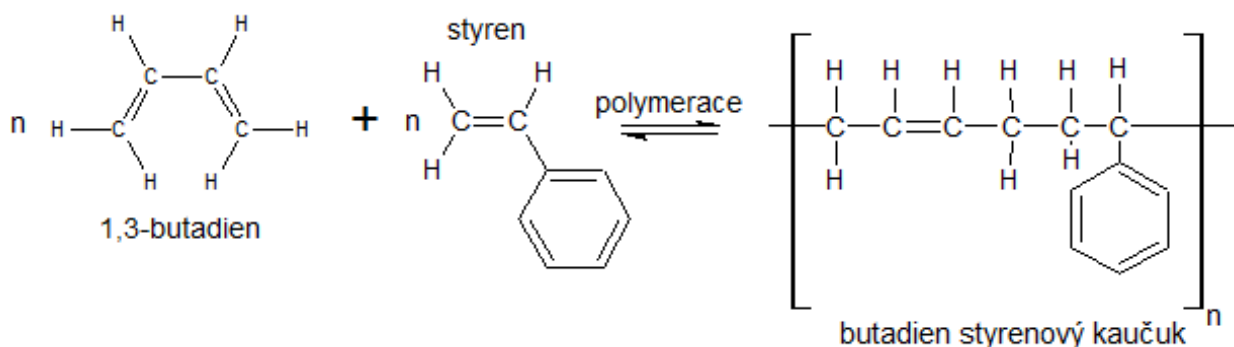
Obr. 1 Časová osa vývoje kol

Vzduchová hadice našla uplatnění až v roce 1888, kdy John Boyd Dunlop podruhé vynalezl pneumatiku a již byla aplikována na jízdní kola, tříkolky a podobné dobové transportní prostředky. Během dalších let se nároky na pneumatiky zvyšovaly, a tak si v roce 1892 nechal J. F. Palmer patentovat kordovou tkaninu, čímž nahradil do té doby užívaný křížený výztužný materiál. Touto nepatrnou záměnou se znatelně prodloužila životnost výztuže i pneumatiky. [4]

V letectví byly vzduchem plněné pneumatiky poprvé použity v roce 1906. [5]

### 1.1.1 VULKANIZACE

Stejně jak se rozvíjely výztužné materiály, tak paralelně k tomu byly rozvíjeny i ostatní části pneumatiky. Objev vulkanizace, ke kterému došlo v roce 1839 Charlesem Goodyearem, byl jeden ze zásadních pro výrobu pneumatiky pomocí přírodního kaučuku. [4] Jde o reakci vulkanizačního činidla (např. síry) s tepelnou reakcí nebo urychlovači (katalyzátory). Vulkanizací se výrazně zlepší vlastnosti kaučuků, tím je myšlena pevnost v tahu, elastická vratnost deformace, odolnost vůči oděru, strukturní pevnost a další. [9] Začátkem 20. století byla vulkanizace obohacena o antioxidanty a urychlovače urychlující proces vulkanizace a následně obohacena o ztužující saze, které byly do procesu přidávány. Roku 1943 byly poprvé vyrobeny pneumatiky na bázi syntetického kaučuku (butadien-styrenový) a o deset let později z „přírodního kaučuku“ (stereoregulární cis-1,4-polyisopren). [4]



Obr. 2 Vulkanizace syntetického kaučuku

### 1.1.2 HISTORIE KONSTRUKCE PNEUMATIK

Do roku 1904 byla konstrukce pneumatiky pouhá gumová hadice nahuštěná vzduchem. Tento rok však byla nahuštěná hadice opatřena plochým běhounem, do kterého byl utvořen i desén (vzorek) a tím bylo zajištěno výrazné zlepšení v přenosu sil mezi dopravním prostředkem a vozovkou. Po roce 1935 se dostávají do popředí moderní rozměry pneumatik a probíhají první pokusy o vytvoření nízkoprofilové pneumatiky. [4]

Po druhé světové válce, kdy jde vývoj veškeré techniky opět dopředu, přichází na scénu roku 1946 zásadní změna v konstrukci, kterou si nechala patentovat téhož roku firma Michelin. Jedná se o první radiální konstrukci pneumatiky. Firma Michelin začala vyrábět radiální

pneumatiky od roku 1948 pod označením „X-Tire“. Na těchto pneumatikách vyhrál v roce 1951 vůz Lancia B 24h závod zvaný Le Mans. Rok poté byly použity i na nákladních vozech. [10]

Bezdušová pneumatika přichází na trh roku 1950. V podobném stylu je máme i dnes. Na trhu roku 1967 se objevila i diagonální duše, tzv. „bias belted“. Diagonální konstrukce byla ve většině případech pneumatik nahrazena radiální a byla využívána v podstatně menším množství. To přetrvává až do dnešní doby. [5]

V dnešní době se pneumatiky stále vyvíjí a nové trendy přicházejí každý den. Inovace a vývoj je nezbytnou součástí.

### 1.1.3 HISTORIE KORDU PLÁŠTĚ

Kordová tkanina byla v letech 1914 až 1925 zavedena jako prioritním výztužným materiálem téměř všech pneumatik. Jedním z úplně prvních materiálů pro výrobu kordové tkaniny byl irský len, který byl nahrazen bavlnou. Roku 1923 se zavádí kord na bázi regenerované celulosy, často označovaný jako rayon. Ocelový kord byl zaveden roku 1937 k němuž byl přidán polyamidovým po roce 1950. V roce 1962 byl zaveden polyesterový kord a po roce 1967 byl zhotoven kord se skleněným vláknem. Jedním z posledních významných vyhotovení pevnostní tkaniny je aramidový kord, který byl přidán roku 1976 a je na bázi aromatických polyamidů. [5]



*Obr. 3 Vrstvy kordových vláken [14]*

## 1.2 CHARAKTERISTIKA A FUNKCE PNEUMATIKY

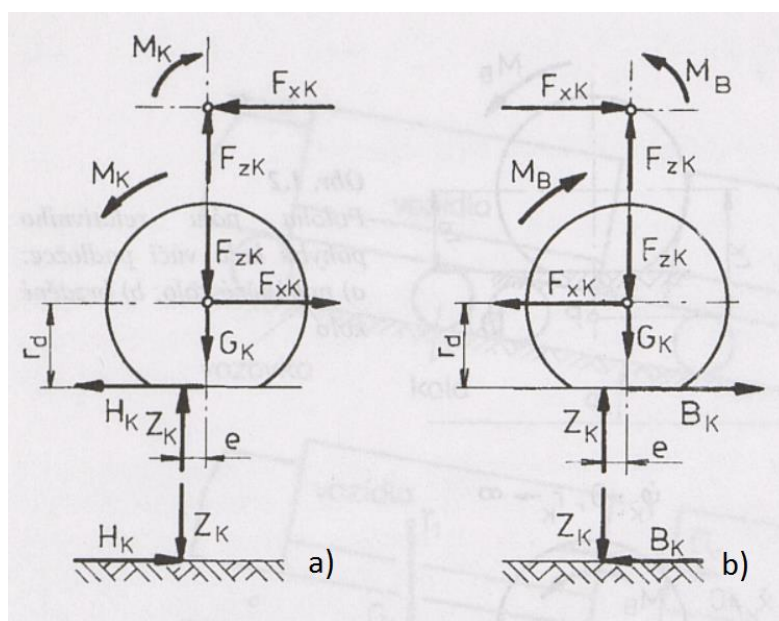
Pneumatika je plášť dosedající pomocí patek na ráfek disku kola a prostor mezi ráfkem a pláštěm je nahuštěný vzduchem či jiným tlakovým médiem. Mezi pláštěm a ráfkem můžeme mít případně vloženou duši a vložku. [4] Pneumatiky jsou konstruovány z mnoha materiálů, které ovlivňují důležité vlastnosti a funkce vozu. Vlastnosti pneumatiky se se stářím mění, stejně tak se mění i s provozními podmínkami a také záleží jakému jsou vystavovány počasí.

V dnešní době je řada funkcí, které musí pneumatiky splňovat, protože jsou jediným spojením mezi vozovkou a automobilem. [12]

- **Pružení a Tlumení** – Pneumatiky musí zvládat absorbovat nárazy při jízdě po vozovce ať je jakákoliv, tím zajistí řidiči komfort, pohodlí a prodlouží celou životnost automobilu. Značnou přizpůsobivost překážkám zajišťuje správný tlak v pneu.
- **Nesení zátěže** – Váha vozidla musí být přenášena nejen při jízdě, ale i v době, kdy vozidlo stojí, brzdí, akceleruje.
- **Přenos výkonu** – Stálý boj s přenosem výkonu motoru a brzdou silou, je i v dnešní době hodně žádaným tématem.
- **Vedení směru** – Zde je hlavní funkcí tzv. držení stopy, kdy musí pneumatika mít dostatečnou stabilitu a odolat nežádoucím silám a vlivům, aniž by vybočila ze své trajektorie. Častým problémem opouštění trajektorie vozidla bývá špatný tlak v pneumatikách mezi nápravami. Správným tlakem v přední a zadní nápravě dosáhneme ideální směrové stability vozidla.
- **Valivý pohyb** – Jakmile je dosaženo rovnoměrného odvalování pneumatiky s nižším valivým odporem, tím je zajištěna nižší spotřeba paliva vozu.
- **Životnost** – Pneumatika disponuje výbornými vlastnostmi i po miliónech otáčkách, záleží ale na opotřebení pneumatiky. To je závislé na stylu jízdy, zátěži, stavu náprav a její geometrii, a především na povrchu vozovky. [12]

### 1.3 SÍLY PŮSOBÍCÍ NA KOLA VOZIDEL

Svislé zatížení kola  $Z_K$  Obr. 4 a), je dáno součtem všech sil působících v kolmém směru k povrchu vozovky. Jedná se o celkovou tíhu vozidla přenášenou silou  $F_{zK}$  a vlastní tíhu kola  $G_K$ , což vyvolá radiální reakci vozovky  $Z_K$ , která je kvůli deformaci kola posunuta o hodnotu  $e$ . Jestliže přenáší kolo hnací moment Obr. 4 b), vzniká na kole reakční moment tvořený dvojicí sil  $F_{xK}$ ,  $H_K$ , který má opačný smysl. Síla  $H_K$  je reakce mezi vozovkou a kolem, vzniklá vlivem přidavného momentu  $M_K$ . Stejně velký moment  $M_K$  se přenáší na vozidlo ovšem opačného



Obr. 4 Síly a momenty působící na kolo a) poháněné kolo; b) brzděné kolo [1]



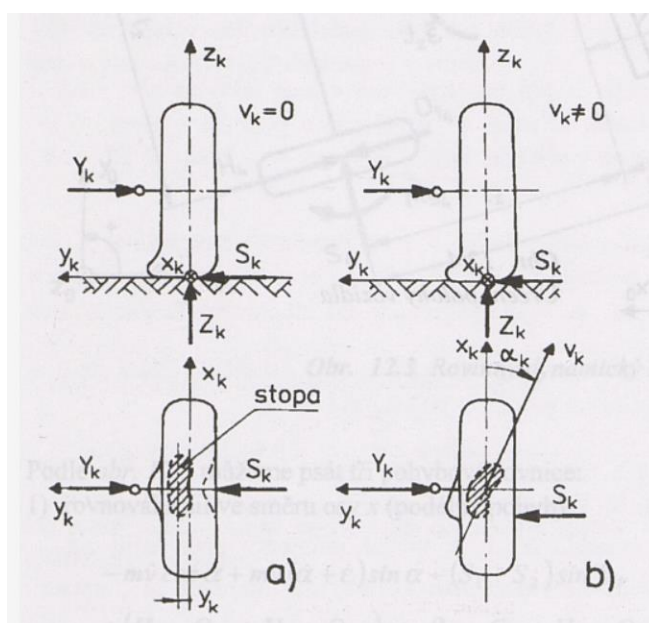
smyslu. Vozidlo je poháněno Obr. 4 a) nebo brzděno Obr. 4 b), kvůli síle  $F_{xK}$ , která působí na vozidlo v opačném smyslu než na kolo. [1]

## 1.4 SMĚROVÉ CHARAKTERISTIKY PNEUMATIK

Jde o důležité charakteristiky, které určují chování a vlastnosti pneumatiky za určitých podmínek.

### 1.4.1 BOČNÍ SÍLA

Je síla působící v ose otáčení kola. Když na kolo nebude působit žádná boční síla, bude střední rovina kola totožná s podélnou osou stykové plochy pneumatiky na vozovce. Stopou je nazývána plocha, kde se dotýká pneumatika s vozovkou. Pokud působí boční síla  $Y_k$  v ose otáčení Obr. 5 a), tak ve stopě vznikne vodorovná boční reakce  $S_k$ , která se nazývá boční vodící síla kola. Dochází k pružné deformaci pneumatiky do bočního směru. V závislosti velikosti boční síly a boční tuhosti pneumatiky, se osa stopy vychýlí o určitou hodnotu vůči podélné rovině kola. [1]



Obr. 5 Vznik boční vodící síly a) stojící kolo; b) valící se kolo [1]

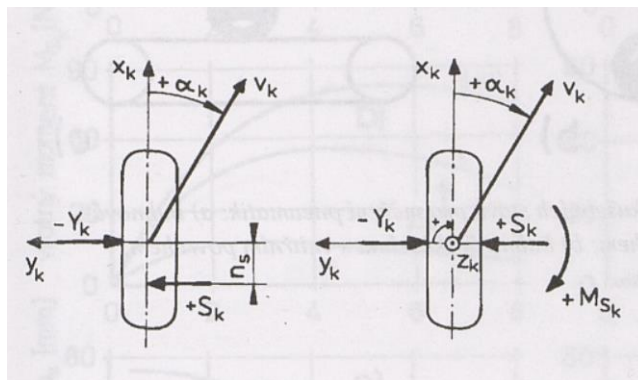
### 1.4.2 ÚHEL SMĚROVÉ ÚCHYLKY

Je úhel mezi podélnou osou kola  $x_k$  a vektorem pohybu rychlosti kola  $v_k$ . Když se kolo začne otáčet a bude zatížené boční silou, tak povrch pneumatiky přichází do styku s vozovkou vychýlený o úhel směrové úchyly  $\alpha_k$  Obr. 5. Pokud se kolo odvaluje s vzniklým úhlem směrové úchyly, je výslednice boční vodící síly  $S_k$  posunuta dozadu a neleží v ose otáčení kola  $y_k$ . Vzniklé rameno boční vodící síly se nazývá závlek pneumatiky  $n_s$  Obr. 6. S tím je spojený



vratný moment pneumatiky  $M_{Sk}$ , který získáme vynásobením boční vodící síly  $S_k$  a závlekiem pneumatiky  $n_s$ . Tento moment nám natáčí kolo do skutečného směru valení kola  $v_k$ , kolem svislé osy kola  $z_k$ .

Závislost boční vodící síly  $S_k$  a vratného momentu  $M_{Sk}$  na úhlu směrové úchylky kola  $\alpha_k$  se určuje experimentálně na pojízdných dynamometrech nebo válcových stavech. [1]



Obr. 6 Závlek a vratný moment na valícím se kole [1]

### 1.4.3 SKLUZ

Skluz je ztráta adheze pneumatiky s vozovkou, kdy obvodová rychlost kola je jiná než rychlost vozidla. Skluz nastává tehdy, pokud je zapotřebí přenesení síly z kola na vozovku. Při brzdění, kdy dojde k zablokování kol, nazýváme skluz smykem. Když bude maximální přenesitelná obvodová síla menší než reakce mezi vozovkou a kolem, dochází k tzv. prokluzu. U pneumatik jsou dva typy skluzu, příčný a podélný. [1]

## 1.5 JÍZDNÍ ODPORY

Jízdní odpory jsou síly, které působí proti pohybu vozidla. Pro kola je zásadním odporem odpor valivý. Mezi další jízdní odpory patří odpor stoupání, zrychlení, odvalování, vlivem sbíhavosti a odpor vzdušný, který se většinou vztahuje přímo pro celé konkrétní vozidlo.

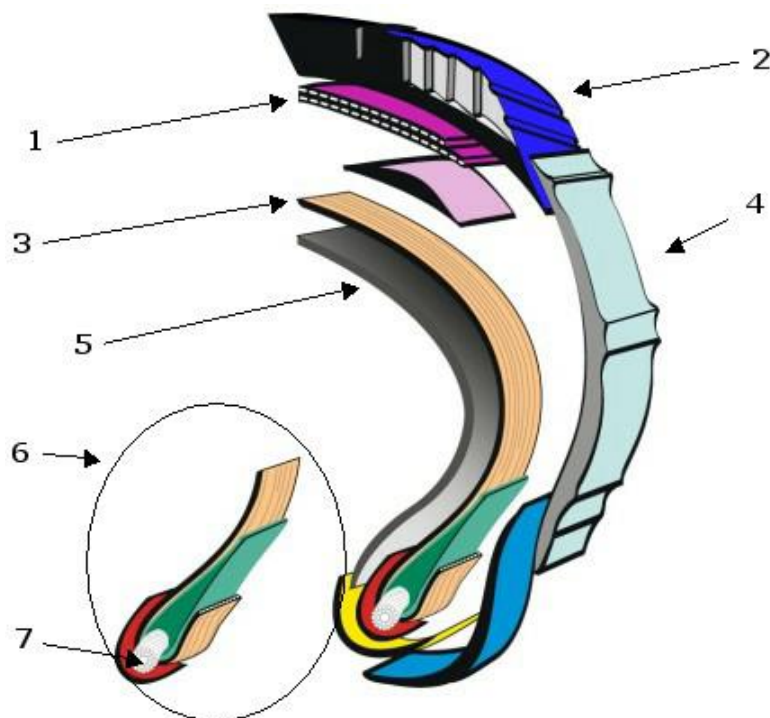
### 1.5.1 VALIVÝ ODPOR

Valivý odpor vzniká deformací pneumatiky a vozovky. Aby došlo k pouhé deformaci pneumatiky musí být vozovka dokonale tuhá. Při valení pneumatiky dochází ke stlačování obvodu pneumatiky do roviny s vozovkou a následně po kontaktu s vozovkou se vrací zpět do kruhového tvaru. Síly potřebné ke stlačení pneumatiky jsou větší než síly, kterými pneumatika působí na vozovku při navracení do původního stavu. Vlivem těchto ztrát vzniká v pneumatice teplo. Tento proces nazýváme hystereze. Valivý odpor je závislý na povrchu vozovky, na rychlosti odvalujícího se kola a na vlivu deformace. Deformace pneumatiky je závislá na nahuštění kola. Při menším tlaku se pneumatika víc deformuje, vzniká větší deformační a tlumící práce, a tím se zvyšuje i valivý odpor. Čím vyšší rychlostí se kolo pohybuje, tím vyšší vzniká měrný tlak v pneumatice a taktéž zvyšuje valivý odpor. [1]

## 1.6 KONSTRUKCE PNEUMATIKY

Pneumatika se skládá ze třech hlavních komponentů. Prvním je pryž tvořící 80-85 %, dále různá chemická vlákna se zastoupením 12-15 % a ocelový kord s 2-3 % zastoupením. [9]

Hlavními konstrukčními prvky pláště jsou: nárazník (1), běhoun (2), kostra pláště s kordovými vlákny (3), bočnice (4), vnitřní guma (5), patka (6), patní lano (7), výplň [4] Číslo uvedená v kulatých závorkách jsou zobrazena na Obr. 7



Obr. 7 Konstrukce pneumatiky [11]

### 1.6.1 BĚHOUN

Běhoun se nachází na vnějším obvodu pláště. Jde o vrstvu pryže, která je zpravidla opatřena desénem neboli vzorkem a je jedinou částí, která přichází do styku s vozovkou. Běhoun slouží k přenosu hnací síly vozidla na vozovku. [6] Díky dobře zvolenému desénu vůči vozovce může být zlepšen záběrový moment pneumatiky, její adheze a brzdná dráha. Teplo vzniklé hysterezními pochody v plášti je odváděno k povrchu pláště, tím je myšlen běhoun a bočnice. Výsledná tloušťka běhounu má také velký vliv na vznikající teplo uvnitř pláště. [3] Snaha konstruktérů je, aby tloušťka běhounu a stěna pláště byla co nejmenší, kvůli energetickým ztrátám a opotřebení. Další velký vliv na tloušťku běhounu má hloubka drážek desénu, kterou jsou ovlivňovány další faktory, jako je například životnost pneumatiky.

Často volená tloušťka běhounu je z 60 % výška drážky a zbylých 40 % hmota pod běhounem. U nákladních vozů je tloušťka konstruována tak, aby zde byla možnost dalšího prořezávání desénu. U osobních automobilů je prořezávání zakázáno. [3] [11]

U dnešních moderních pneumatik, především nízkoprofilových, je běhoun tvořen dvěma vrstvami, z nichž vrchní vrstva je z materiálu vysoce odolného proti oděru a spodní vrstva je navržena z materiálu s velmi dobrými hysterezními vlastnostmi, tím je například myšleno nízké teplotní namáhání. Tyto dvouvrstvé běhouny jsou vyráběny především pro nákladní vozidla a autobusy. [3]

Vnější část běhounu má zajistit dlouhodobou životnost a co nejlepší adhezi s vozovkou, kdežto vnitřní část má za úkol snížit valivý odpor, ochránit kostru a nárazník před mechanickým poškozením. [15]

### 1.6.2 BOČNICE

Bočnice je určena k ochraně boční části pláště před povětrnostními a nežádoucími mechanickými vlivy. Zabrání, alespoň nepatrným proražením, které by mohly nastat. Vyrobená je ze směsí s vysokou odolností vůči opotřebování a s dobrými adhezními vlastnostmi, aby vydržela mnohonásobný. [11][6] Jde o pásy kaučukové směsi, které jsou přikládány při konfekci pláště symetricky na obě strany běhounu.

Pokud se na bočnici objeví jakékoliv prasklinky, trhlinky či zvrásnění jedná se o poškození mechanické nebo chemické. Toto poškození je z velké většiny způsobené stářím pneumatik nebo vystavení přímému svitu slunečních paprsků, a proto se do kaučukové směsi se přidávají antioxidanty a antiozonanty, aby se životnost pneumatik co nejvíce prodloužila. [3]

### 1.6.3 KOSTRA PLÁŠTĚ

Základním nosným prvkem pláště je kostra, která je tvořena jedním nebo více tenkými textilními vlákny. Vlákná jsou uložena rovnoběžně vedle sebe a jsou zalita do pryže. Podle složení a uzpůsobení tkanin neboli kordových vrstev, dělíme pneumatiky na radiální nebo diagonální. [11]

Kostra pláště určuje zásadní vlastnosti, kterými jsou tvar pneumatiky, nosnost pneumatiky a její jízdní vlastnosti. [3]

#### RADIÁLNÍ KONSTRUKCE KOSTRY

Radiální kordové nitě jednotlivých vložek celé kostry jsou dávány v kolmém směru na obvodovou kružnici, tak aby vzdálenost od patky k patce na druhé straně pláště byla co nejkratší. Tak jak je vidět na Obr. 8 na zelených vláknech. [3] Z hlediska celkové konstrukce radiální pneumatiky je boční strana pružnější než u diagonální konstrukce, což způsobí širší kontaktní plochu. Tím dosáhneme větší přilnavosti, lepšího jízdního komfortu ve vyšších rychlostech, menšího valivého odporu a nižší spotřeby paliva. Menší valivý odpor je zajištěn díky kolmému vedení vláken. U diagonální konstrukce jsou vlákna pokládána do síťové struktury, čímž vyvolávají větší stříhové namáhání, které tvoří velké teplo a musí mít více vrstev, takže stěny pneumatik mají velkou tloušťku. Ovšem radiálně vedená vlákna nedokázala dobře přenést obvodové brzdné a hnací síly, tak byla kostra doplněna o podélný výztužný pás, nazývaný nárazník. Další výhodou je, že nedochází k pohybu mezi vrstvami, což má za následek menší tvorbu tepla a zvýšenou odolnost proti zahřívání. Nit'ové pásy přímo pod

běhounem zajistí menší deformaci, čímž se zlepší záběr pneumatik a zvýší odolnost proti průrazu.

Nevýhodou radiální pneumatiky je jízda při nízké rychlosti na špatném povrchu vozovky, protože jízda bude tvrdší. Na znečištěném povrchu je nevýhodou snížení samočistící

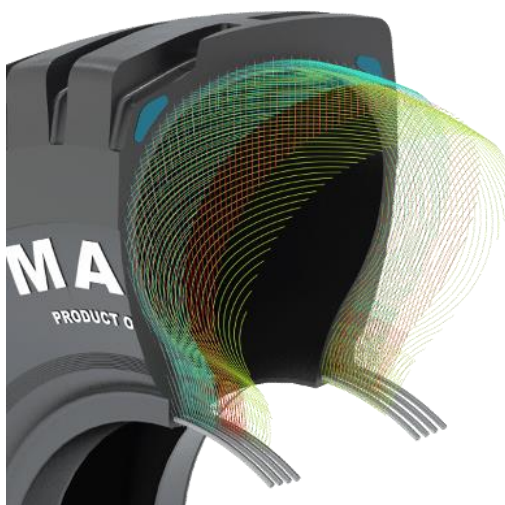


*Obr. 8 Radiální konstrukce pneumatiky [14]*

schopnosti. [14]

#### **DIAGONÁLNÍ KONSTRUKCE KOSTRY**

U diagonálních pneumatik bývá většinou sudý počet vložek. Jednotlivé nitě kordových vložek svírají s obvodovou kružnicí úhel v rozmezí od 30 ° do 40° k patce. Vrstvy leží v protilehlých úhlech Obr. 9, tím tvoří kostru, na kterou je nanesen běhoun. Vhodně zvolený úhel rozhoduje o pevnosti a kvalitě kostry. [3] Výhodami diagonální konstrukce je komfortní, „hladká“ jízda po drsných površích a schopnost vyššího zatížení, co se týká nosnosti.



*Obr. 9 Diagonální konstrukce pneumatiky [14]*

Nevýhodou je horší záběr na vozovce, možnost přehřátí a vysoké opotřebení.[14]

### BIAS – BELTED KOSTRA

Kostra pláště bias – belted je kombinací diagonální a radiální kostry, také zvaná semiradiální. Nárazník je vyroben z materiálů s vyšším pevnostním modulem (většinou oceli a skla) a nitě kordových vložek jsou položeny tak, že svírají s obvodovou kružnicí jen několik málo stupňů. Tvoří přechodovou řadu od diagonálních pneumatik k radiálním. Kostra Bias – belted využívá dvou nebo více vrstev nylonového kordu plus dvě vrstvy ocelového pásu pod běhounem, což dodá pneumatice pevnost.

Jejich výhodou oproti diagonálním pneumatikám je snížený valivý odpor, mají vyšší odolnost proti průrazu a delší životnost. [3]

### SUPERELASTICKÁ KONSTRUKCE

Tato konstrukce je určena pro plná kola, která nejsou plněna vzduchem, nejedná se tedy o pneumatická kola Obr. 10. Využívají se pro průmyslové stroje, nejvíce pro vysokozdvizné a plošinové vozíky. Disponují svou velkou odolností proti vnějšímu poškození, jsou extrémně stabilní, bezúdržbové a jsou schopné odolat mnohem většímu zatížení než pneumatiky s diagonální nebo radiální konstrukcí. Vozidla s plnými koly se obecně pohybují malými rychlostmi. Nedokážou tlumit nerovnosti vozovky, kvůli jejich tuhosti. [14]



*Obr. 10 Superelastická konstrukce pneumatiky  
[14]*

#### 1.6.4 NÁRAZNÍK

Nárazník neboli korunní kordová vrstva je část mezi běhounem a kostrou pláště. Jeho úkolem je stabilizovat běhoun a zachytit obvodové namáhání, příčné síly a nárazy od vozovky. Také napomáhá k vyšší odolnosti pláště proti proražení. [6] U osobních automobilů se zpravidla používají dvě nárazníkové vrstvy a u nákladních automobilů v průměru tři až čtyři vrstvy. Již v dnešní době je u radiálních pneumatik výhradně použit pouze nárazník z ocelového kordu. [11]

Překrývací nárazník (PA polyamidový) se přidává do pláště vyšších rychlostních kategorií, kvůli většímu vyztužení běhounu. [5] Je umístěn mezi běhounem a korunní kordovou vrstvou a jeho kordy jsou uloženy ve směru odvalování. Plášť se tak i při velmi vysokých rychlostech pohybuje bez obvodové deformace pneumatiky. Další výhodou je snížení valivého odporu a zlepšení jízdního komfortu vozidla. [15]

### 1.6.5 PATKA

Patka pláště je zesílená část pláště dosedající na opěrnou hranu ráfku disků kol. Je přitlačována vlivem nahuštění vzduchu do pneumatiky. Patka má přenášet všechny síly vznikající mezi ráfkem a pláštěm a zamezit úniku vzduchu v oblasti opěrných ploch ráfku. Jádrem patky tvoří patní lanko, ke kterému jsou přichyceny pogumované kordové vložky. [5]

### 1.6.6 PATNÍ LANKO

Patní lanko se vyrábí ze svazku vysokopevnostních ocelových drátů. Poskytuje správné a bezpečné usazení pláště na ráfku, díky vznikajícím třecím silám mezi pryžovými povrchy. Také zajišťuje přenos podélných sil. [15] Máme dva typy patních lan pro radiální pneumatiky osobních automobilů.

- stříkané – Svazek ocelových drátů, který je pogumován kaučukovou směsí. Tento pogumovaný svazek vedle sebe uložených drátů vytvoří pásek. Pásky se pak skládají na sebe a několik vrstev takto uložených pásků utvoří pevné lano. Lano má obdélníkový nebo čtvercový průřez, jehož rozměry určují vrstvy drátů a pásků.
- vinuté – Lano je kruhového průřezu z ocelokordového drátu navíjené do kruhu. Drát není chráněn pogumováním. [5]

Pro výrobu patních lan se nejčastěji vyrábí ocelová vlákna o průměru 0,15, 0,175 a 0,22 mm, protože vlákna menších průměrů mají lepší dynamické vlastnosti než vlákna větších průměrů. Na samotná vlákna je ještě nanášena vrstvička mosazi (70 % Cu + 30 % Zn) kvůli lepší adhezi ocelového povrchu kordu k pryži a zamezení případného rizika koroze. [23]

### 1.6.7 VNITŘNÍ GUMA

Jedná se o vrstvu pryže, která se nachází na vnitřní straně pláště. Slouží jako ochrana kostry a zabraňuje úniku vzduchu z vnitřku pláště. Dnes už v bezdušových pneumatikách nahrazuje roli duše. Je vyráběná z Butylového kaučuku, který se vyznačuje výbornou neprodyšností. [11] Tloušťka vrstvy vnitřní gumy pro osobní automobily bývá kolem 2 mm a pro nákladní vozidla 4 a více mm. [3]

## 1.7 KONSTRUKCE DESÉNU

Rozlišují se tři základní typy desénů: symetrický, asymetrický a směrový neboli šípový. [11]

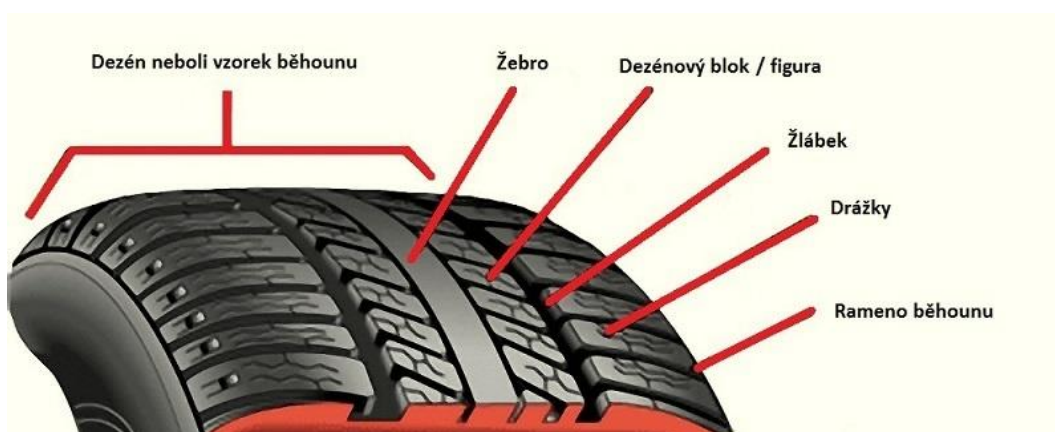




*Obr. 11 Tři základní typy desénů [17]*

Konstrukcí desénu je chápána vnější plocha běhounu, která je opatřena desénem, což je soustava cíleně uspořádaných žlábků, které rozdělují povrch pláště na geometrické obrazce, zvané také figury. Podmínkou dobré a spolehlivé adheze na mokré vozovce je dostat plášť do přímého styku s vozovkou. Tohoto stavu dosáhneme, když figury desénu budou schopny rozbít souvislý nosný vodní film, který vzniká mezi vozovkou a pneumatikou. Aby toho bylo dosaženo i ve velmi krátkých časových intervalech, musí být konstrukce desénu navržena s co nejmenší plností, kvůli které je desén schopen odvést velké množství vody v krátkém čase. Výhodou konstrukce s co nejmenší plností je, že má menší stykovou plochu a tím větší dotykový tlak. Nevýhodou je hlučnost a větší opotřebení. Takto jsou vyráběné převážně pneumatiky na letní sezónu. [1]

Povrchová plocha figur desénu disponuje jemnými zářezy zvanými lamely, hlavně u zimních pneumatik. Lamely zajišťují lepší poddajnost a tím lepší adaptabilitu na nerovný povrch vozovky. Hlavní podstatou lamel je, že do jejich dutin se vtlačuje určitý objem vody a tím snižuje tloušťku vodního filmu pod stykovou plochou pláště. Lamely tak zvýší adhezní podmínky, a zároveň s tím zvýší i opotřebení pneumatik. [1]



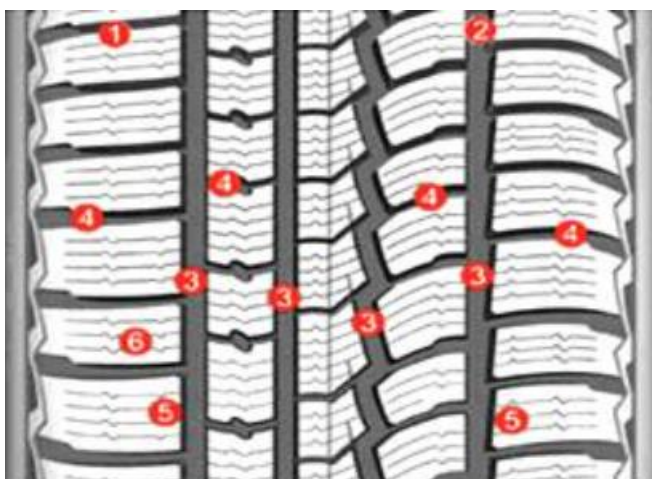
*Obr. 12 Hlavní části konstrukce desénu [17]*

Zimní desény jsou konstruované se zářezy do podélného i příčného směru. Přímý styk figur desénu s vozovkou na sněhu většinou není možný. Kvůli velké vrstvě sněhu je dosaženo

určitého styku s vozovkou jen tehdy, když se blokové figury desénu boří do měkkého podkladu a svými čelními a bočními plochami přenášejí síly. [1]

Kromě uspořádání žlábků a lamel v porovnání zimní pneumatiky s letní, je velký rozdíl především v obsahu speciální běhounové směsi s vyšší koncentrací silika (pórovitá forma oxidu křemičitého), která nahrazuje saze. Výhodou silika oproti sazím je snížení vnitřního tření pneumatiky a tím snížení valivého odporu. Silika jsou také schopné zajistit stálé elastické vlastnosti pryže i při nízkých teplotách pod bodem mrazu, a to až do  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . [5]

### FUNKCE JEDNOTLIVÝCH ZÓN DESÉNU



Obr. 13 Zóny desénu [15]

1. První zóna označena na Obr. 13 Zóny desénu [15] je tzv. vnější zóna, která je nejvíce zatěžována při manévrování. Je tvořena většími, tuhými bloky s velkou pevností, aby zajistila nejlepší jízdní stabilitu a přesné a bezpečné ovládání vozidla.
2. Vnitřní zóna pláště má znatelně posilovat účinek záběru na vodě a sněhu, díky příčným drážkám vedoucím ven z bočnice.
3. Čtyři širší podélné drážky vedoucí po celém obvodu pláště zajišťují dostatečné držení směru jízdy a jsou nejdůležitějšími při odvodu vody ze styčné plochy pláště s vozovkou.
4. Příčné drážky umístěné do tangenciálního směru ke směru jízdy, zaručují efektivní odvádění vody a zajišťují spolehlivý záběr na sněhu.
5. Technologie nestejně velkých bloků na vnější i vnitřní straně má za následek částečné eliminování hluku, jež vzniká odvalováním pneumatiky. Kvůli určité frekvenci hluku se konstruují rozdílné tvary a velikosti bloků, aby frekvence mezi sebou rozbíjely a nevznikal pouze jeden jediný monotónní hluk o určité frekvenci, který pak mnohem více vnímáme. Hlučnost letních pneumatik je samozřejmě nižší než u zimních, kde je mnohem větší počet bloků, drážek a lamel.
6. Husté lamelování figur způsobuje velké množství záběrových hran, které přispívají k adhezním silám. [15]



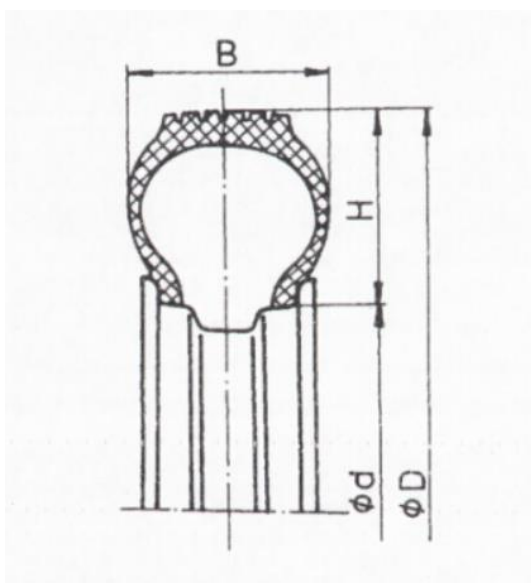
## 2 ZNAČENÍ PNEUMATIK

V dnešní době je téměř každý produkt specificky označován. Ať už z hlediska přehlednějšího používání, prodeje, značky nebo třeba rozdělení. Stejně tak, tomu je i u pneumatik. Každá pneumatika má na bočnici zaznačenou spoustu informací, které udávají její rozměry, rychlostní indexy, zátěžové limity, den výroby a další vlastnosti. Některé údaje jsou důležité pro uživatele, jiné jsou pro techniky nebo prodejce a další jsou nepostradatelné při skladování a výrobě.

### 2.1 ZÁKLADNÍ ROZMĚRY A ZNAČENÍ

Rozměry pneumatik jsou hlavními parametry při vybírání pneumatik na konkrétní vozidlo. Povolený rozměr musí být vždy uveden ve velkém technickém průkazu vozidla (VTP) a odpovídat konkrétnímu typu disku. Tyto rozměry jsou předepisované výrobcem k danému vozidlu, z důvodu bezpečnosti a následným kontrolám STK. [16]

Velikost pneumatiky vystihují tři základní rozměry, které jsou znázorněné na Obr. 14. Šířka profilu  $B$  nezatížené nahuštěné pneumatiky, výška profilu  $H$  a průměr ráfku  $d$ .

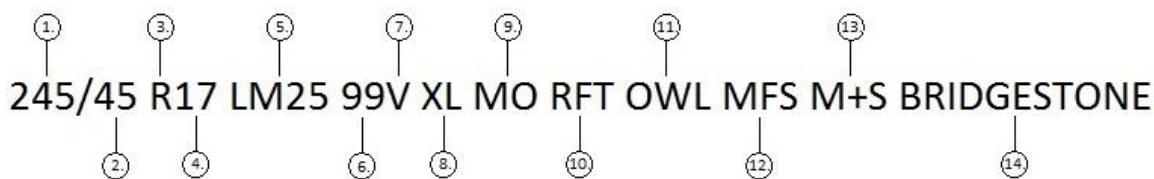


Obr. 14 Označení hlavních rozměrů pneumatiky [1]

Výrobci mimo jiné také udávají tyto rozměry:

- vnější průměr  $D$  v nezatíženém stavu
- statický poloměr  $r_s$ , což je vzdálenost od osy rotace nahuštěného kola a podloží při doporučeném maximálním zatížení
- odvalený obvod je dráha jednoho bodu za jednu otáčku pneumatiky po rovné a pevné vozovce [1]

Příklad označení pneumatiky pro osobní automobil Obr. 15.



Obr. 15 Možné značení na pneumatice [17]

1. Na prvním místě je vždy jmenovitá šířka pneumatiky v milimetrech [mm].
2. Za lomítkem je udávané profilové číslo pneu, které udává poměr šířky pláště ku jeho výšce v procentech [%] (45 % z 245 mm = 98 mm).
3. Označení konstrukce: radiální „R“, diagonální „D“ nebo bias-belted „B“.
4. Průměr disku v palcích (1 palec = 25,4 mm), v tomto případě 17".
5. Název desénu pláště, každý výrobce má své. Označení LM25 používá firma Bridgestone.
6. Index nosnosti (Li = Load index) je hodnota určující maximální nosnost pneumatiky při určité rychlosti vyplývající z rychlostního indexu za určitých podmínek. Pokud by byl index nosnosti označen v kroužku, jedná se o odpovídající nosnost při alternativní možné vyšší rychlosti. Pro určení indexu nosnosti máme Tab. č. 1
7. Index rychlosti (Si = Speed index) představuje maximální rychlost, při které dokáže pneumatika unést hmotnost určenou výše uvedeným indexem. Rychlostní indexy najdeme v Tab. č. 2.
8. Onačení pro zesílenou pneumatiku, určené pro vyšší zátěž a tlak, než se očekává ve standardní verzi pneumatiky. V tomto případě „XL“ (Extra Load) znamená, že snese extrémní zatížení. Dalším označením jsou „RF“ (Reinforced) zesílená pneumatika a „SL“ (Standard Load), což je standardní pneumatika. Je možné se setkat i se zkratkami „EXL“ a „RFD“, které se nyní již nepoužívají, ale mají stejný význam jako již zmíněné první dvě.  
Opačným označením je „UL“ (Ultra Light), což je odlehčená konstrukce.
9. Homologace pneumatiky pro konkrétní značku automobilky případně vozidla. Tyto pneumatiky jsou vyráběny ve spolupráci s danou automobilkou a nasazovány jsou už přímo ve výrobě. Zkratka „MO“ (Mercedes Only) je homologací pro Mercedes.
10. „RFT“ (Run Flat Technology) značí dojezdovou technologii. Pneumatika umožní dojezd i při defektu po určitou vzdálenost a rychlost.
11. Na této pozici zkratka značí, že na bočnici je text, který může mít různou barvu a různé provedení, případně může být samotná bočnice zbarvena určitou barvou. Označení „OWL“ (Outline White Lettering) konkrétně znamená, že na bočnici je bílý obrys písmen.
12. Zde se jedná o označení ochranného lemu ráfku, který chrání okraj ráfku před možným odřením o chodník nebo odlétajícími úlomky na silnici. Převážně tuto ochranu najdeme u nízko profilových pneumatik. „MFS“ (Maximum Flange Shield = maximální chránění ráfku) poskytuje tu nejvyšší ochranu. Dále může být označeno „FR“, „FP“, „FSL“ nebo „RPB“.
13. Označení pneumatik, pro jaký provoz jsou vhodné, letní, zimní nebo celoroční. „M+S“ (Mud + Snow) je určena pro zimní nebo celoroční provoz a doslova znamená bláto + sníh. Za plnohodnotné zimní pneu se považují ty, které mají na bočnici obrázek hory s třemi vrcholy a uvnitř vločku neboli „3PMSF“ (Three peak mountain snowflake).

Speciálním označením může být i „POR“ (Professional Off-Road), které nahrazuje „M+S“ a je výhradně určené pro kategorie offroad, 4x4 a SUV pneumatiky s nadstandardním výkonem v terénu.

Letní pneumatiky nemají žádné specifické označení liší se především jinou konstrukcí desénu.

#### 14. Značka výrobce pneumatiky. [18],[17],[3]

Tab. č. 1 Li – index nosnosti [17]

Li	Nosnost na 1 kolo v [kg]	Li	Nosnost na 1 kolo v [kg]	Li	Nosnost na 1 kolo v [kg]	Li	Nosnost na 1 kolo v [kg]	Li	Nosnost na 1 kolo v [kg]
50	190	70	335	90	590	110	1060	130	1900
51	195	71	345	91	615	111	1090	131	1950
52	200	72	355	92	620	112	1120	132	2000
53	206	73	365	93	650	113	1150	133	2060
54	212	74	375	94	670	114	1180	134	2122
55	218	75	387	95	690	115	1215	135	2180
56	224	76	400	96	710	116	1250	136	2240
57	230	77	412	97	730	117	1285	137	2300
58	236	78	425	98	750	118	1320	138	2360
59	243	79	437	99	775	119	1360	139	2430
60	250	80	455	100	800	120	1400	140	2500
61	257	81	462	101	825	121	1450	141	2575
62	265	82	475	102	850	122	1500	142	2650
63	272	83	487	103	875	123	1550	143	2725
64	280	84	500	104	900	124	1600	144	2800
65	290	85	515	105	925	125	1650	145	2900
66	300	86	530	106	950	126	1700	146	3000
67	307	87	545	107	975	127	1750	147	3075
68	315	88	560	108	1000	128	1800	148	3150
69	325	89	580	109	1030	129	1850	149	3250

Tabulka indexu nosnosti (Tab. č. 1) je zkrácena, jinak se uvádí pro rychlosti od 0 – 300 km/h.  
51

Tab. č. 2 Si – index rychlosti [17]

Si	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	B	C	D	E	F	G	J	K
km/h	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	65	70	80	90	100	110

Si	L	M	N	P	Q	R	S	T	U	H	V	ZR	W	Y	(Y)
km/h	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	240	>240	270	300	>300

## STAVBA PNEUMATIKY

Nejčastějším označením je bezdušové provedení, které se značí „TL“ (Tubeless), provedení konstrukce s duší se označuje „TT“ (Tube Type). Pneu s duší se používá především u motocyklů a jízdních kol.

## DOT

Jedním z nezbytných označení, které opravdu na bočnici pláště nesmí chybět je kód „DOT“ (Department of Transportation). Tento kód potvrzuje, že plášť vyhovuje všem platným bezpečnostním normám.

Za tímto kódem se udávají tři čtyřmístné sestavy písmen a číslic, které slouží k identifikaci výrobce a datumu její výroby. Od roku 2000 je vždy poslední čtyřčíslí označeno v ovále a prozradí nám datum výroby pneumatiky. Do roku 2000 byla pouze třímístná číslice. První dvojčíslí udává týden výroby a druhé rok. Příklad na Obr. 16 nám udává, že pneumatika byla vyrobena 4. týden v roce 2013. [11]



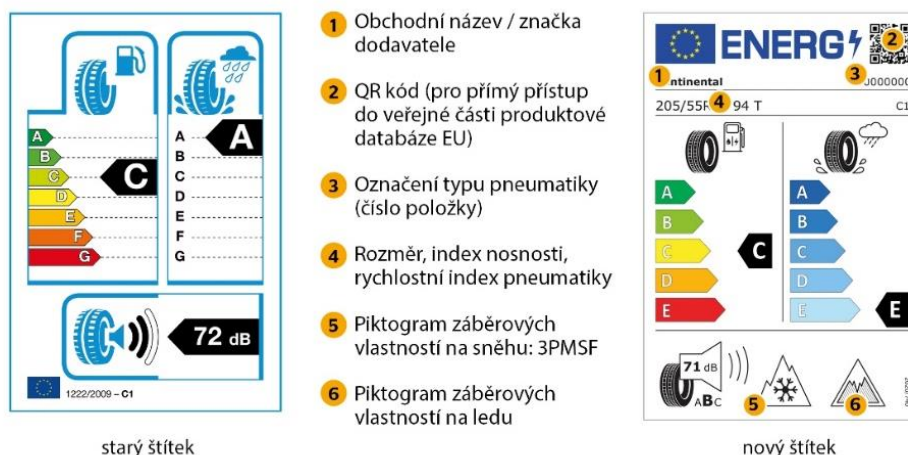
Obr. 16 kód DOT a poslední čtyřčíslí datumu výroby [11]

## 2.2 NOVÉ ŠTÍTKY PNEUMATIK

Začátkem letošního května roku 2021 budou do oběhu uvedeny nové štítky pneumatik, které mají zákazníkům poskytnout větší množství informací a následné šetření nákladů i životního prostředí. Hlavní změny se budou týkat zavedení tříd valivého odporu, účinnosti brždění na mokré vozovce a hlučnosti, která bude uváděná jako množství decibelů a současně označena písmeny na škále A, B nebo C. Na novém štítku také přibude i QR kód, ze kterého zákazníci po načtení získají doplňující informace o konkrétní pneumatice v online databázi EPREL (European Product Registry for Energy Labelling).

Začátkem května by se na štítcích také měly objevit dva nové piktogramy. První z nich by měl informovat o záběru na sněhovém povrchu „3PMSF“ Obr. 17 č.5 a druhý by měl definovat záběr pneumatik na ledovém povrchu Obr. 17 č.6, což je údaj určený především pro skandinávské země. Tento údaj najdeme na pneumatikách s měkkou směsí a ty se ve střední Evropě nepoužívají.

Změna se také projeví snížením tříd ze sedmi původních (A–G), na pouhých pět (A–E). Důvodem je přehlednost a srozumitelnost štítku v přehledu přílnavosti za mokra, valivého odporu a ve vyšší úspoře paliva. [19]

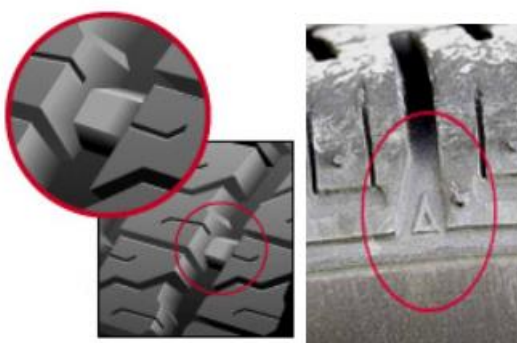


Obr. 17 Nový štítek EU pro značení pneumatik [19]

## 2.3 INDIKÁTOR OPOTŘEBENÍ TWI

TWI (Tread Wear Indicator) neboli indikátor opotřebení běhounu je systém pro kontrolu hloubky desénu pneumatik. Ve valné většině zemí, včetně naší, je zákonem předepsaná minimální hloubka desénu z bezpečnostního opatření. Minimální hloubka desénu pro jakoukoliv pneumatiku je v České republice 1,6 mm. Systém TWI byl navržen pro rychlé a jednoduché posouzení aktuální hloubky desénu kola, aniž by byla potřeba jakýkoliv měřicí přístroj. [18]

Uvnitř běhounu jsou umístěny indikátory stupně opotřebení. Jde tzv. o přechodové můstky Obr. 18, které jsou po obvodu rovnoměrně rozmístěny a označeny šipkou, trojúhelníčkem nebo přímo písmeny TWI. Jakmile přechodové můstky splynou s desénem, je třeba pneumatiku okamžitě vyměnit. [11]



Obr. 18 TWI – indikátor opotřebení pneumatik [11]

Minimální hloubka desénu pro letní pláště je právě 1,6 mm a u zimních je povolena minimální hloubka 4 mm. U nových pneumatik bývá hloubka desénu v rozmezí 7–8 mm. [18]

### 3 SROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH KONSTRUKČNÍCH PROVEDENÍ

Tato část je zaměřena na porovnání konstrukčních provedení pneumatik z hlediska výroby, provozních vlastností a jízdních výkonů u osobních, nákladních, jednostopých a závodních vozidel. U všech čtyř kategorií vozidel musí pneumatiky splňovat jednu a tu samou funkci, kterou je přenos sil mezi vozovkou a vozidlem. Ke správnému přenosu sil a cílovým požadavkům, jsou konstruované s určitými rozdíly. Pneumatiky musí poskytovat nejen dobrou trakci při akceleraci, brzdění a zatáčení, ale slouží také jako součást odpružení a tlumí tak nerovnosti vozovky. Pro většinu pneumatik je také požadována nízká hmotnost, vysoká tvarová pevnost s dostatečnou pružností při vysokých rychlostech a adheze.

Pneumatiky jsou složeny z více než 100 samostatných komponent a můžou zahrnovat látky jako přírodní kaučuk, syntetický kaučuk, ocel, nylon, oxid křemičitý, saze, ropu, silika, oleje atd. Kombinací různých přísad a postupů zpracování pneumatiky jinými výrobci vedou k rozdílným výkonovým a účelovým charakteristikám pneumatik na dnešním trhu. Každý výrobce si své postupy i složení pneumatik nechává v tajnosti. Zde je shrnutí, k jakému účelu jsou dané pneumatiky určeny, co se od nich požaduje a jak se liší stavbou od jiných.

#### 3.1 PNEUMATIKY NÁKLADNÍCH STROJŮ, VOZIDEL A DOPRAVNÍCH PROSTŘEDKŮ

U nákladních automobilů je požadována konstrukce pneumatik s vysokou pevností, vysokou životností a s optimalizovaným kilometrovým výkonem. Kilometrovým výkonem je myšlen ujetý počet kilometrů v rámci životnosti pneumatiky. Rozměry kol nákladních automobilů jsou větší než u osobních nebo jednostopých vozidel a musí snášet mnohem větší zatížení, proto jsou do konstrukce přidány další vrstvy pláště, silnější ocelový kord pásu, větší (zesílená) patka a silnější bočnice. Díky zesílení a velikosti jsou nákladní pneumatiky mnohem těžší a dražší, co se týče náročnosti na výrobu z hlediska získání a ceny surovin.

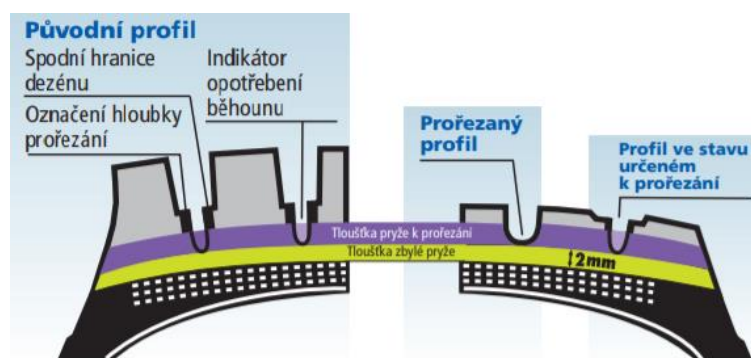
Hlavními faktory u všech nákladních pneumatik, na které je třeba brát zřetel jsou rychlostní a hmotnostní indexy. Rychlostní index musí vždy minimálně dosahovat maximální rychlosti stroje (traktor, tahač, bagr atd.), aby zvládl jízdu po silnici. Hmotnostní index, rozhoduje o maximální zátěži pneumatiky a při jeho překročení hrozí rychlejší opotřebení a deformace pneumatiky.

Převážně u nákladních pneumatik se pneumatiky mohou prořezávat a protektorovat.

##### PROŘEZÁVÁNÍ

Hlavní výhodou většiny pneumatik u nákladních strojů je prořezávání. Prořezávání desénu na vnější straně běhounu, je možné pouze tehdy, je-li na bočnici pneumatik kód „REGROOVABLE“. Materiál pryže pod původním běhounem je volen tak, aby byl dostatečně silný, kvalitní a po prořezání pneumatika neztratila pevnost a tuhost. To zajistí vyšší bezpečnost a nižší spotřebu. Užívá se také kvůli úspoře financí a šetření životního prostředí, z hlediska odpadu. Prořezávání se provádí tehdy, když je hloubka desénu 2 až 4 mm. Po prořezání má běhoun ostré hrany a hloubku desénu 6 až 8 mm, což představuje hloubku desénu napůl opotřebované pneumatiky, aniž by byla poškozena kostra nebo korunní vrstva pláště. Princip prořezávání je zobrazen na Obr. 19. [20]





Obr. 19 Prořezávání pneumatik [20]

### PROTEKTOROVÁNÍ

Protektorování je technika, která spočívá ve zvyšování životnosti pneumatik. Jedná se o kompletní nahrazení běhounu na opotřebované pneumatice. Nový plát běhounu využívá stávající kostry pneumatiky, která však nesmí být nikterak poškozena nebo zborcena, musí být rovnoměrně sjetá a stáří pneumatiky nesmí přesahovat 6 let. Protektor je tedy tzv. obnovená pneumatika, jež umožňuje prodloužení jízdních vlastností ojeté pneumatiky. Technika protektorování je zaměřena především na trh nákladních nebo užitkových vozidel, což činí přibližně 80 %, oproti prodeji pro osobní automobily 20 %. [21]

Hlavní výhodou protektorovaných pneumatik je cena a šetrnost k životnímu prostředí. Oproti novým pneumatikám jsou o 30 až 40 % levnější a ekologičtější k životnímu prostředí, protože z nich nevzniká tolik odpadních pneumatik. Nevýhodami protektorů jsou možné vibrace, větší hluk a výkonnost při brzdění může být nižší. Záleží na kvalitě zpracování u některých výrobců. [22]

#### 3.1.1 NÁKLADNÍ AUTOMOBILY A AUTOBUSY

Nákladní a autobusové pneumatiky požadují vysokou pevnost, životnost a optimalizovaný kilometrový výkon, kvůli omezeným rychlostem. Do konstrukce jsou přidávány silnější ocelové kordy, větší a robustnější patky s celkově zesílenou bočnicí a běhounem. Jako kordové tkaniny se používají polyamidová vlákna a ocelové kordy s označením APN. [3] Mají zpravidla čtyři ocelové pásy, namísto dvou, které najdeme u osobních nebo lehkých nákladních vozidel. Díky navýšení těchto vrstev jsou pneumatiky robustnější, odolnější a zvládají větší zatížení. Na výrobu je nejčastěji použit přírodní kaučuk, kvůli své rezilienci (odrazové pružnosti a hysterezi). [27][3]

Nákladní pneumatiky se dělí podle předností aplikování, pro které cesty a požadavky jsou určeny a podle typu náprav. Podle typu náprav jsou pneumatiky určeny pro vodící nápravu s označením "F", hnací nápravu "D", nosnou nápravu "T" a pro všechny tři pozice náprav "Z",



Obr. 20 Označení náprav nákladních vozidel [27]

znázorněné na Obr. 20. Toto označení je dané legislativou ETRTO (European Tire and Rim Technical Organisation), což je organizace pro stanovení evropských norem. [27]

**Vodící náprava** – Na vodící nápravě lze používat pouze desény typu “F” (Front) nebo “Z”, protože se jedná o desény, které jsou konstruovány a vyráběny tak, aby dokázaly reagovat na jízdní podmínky typické pro vodící nápravy. Mezi ně patří dynamická nosnost, natáčení úhlů náprav, vyšší kilometrický výkon.

**Hnací náprava** – Na hnací nápravě používáme pouze pneumatiky s označením “D” (Drive), může být použito i označení “Z”, ale pro výkon se specifiky této nápravy, nebude tak ideální. Desény těchto typů pneumatik jsou zkonstruované pro schopnost lépe převádět hnací a brzděné kroutící momenty. Kvůli kladenému největšímu zatížení z celého jízdního celku právě na hnací nápravu, se dělají i dvojmontáže.

**Nosná náprava** – Použití pneumatik s desénem “T” (Trailer) nebo “Z” na nosných nápravách je kvůli zkonstruování pro schopnost reagovat na statickou a dynamickou nosnost, proti velkému odírání a na požadavku vyššího kilometrového nájezdu. Pneumatiky nosných náprav mají indexy nosnosti a rychlosti uzpůsobené pro návěsy a přívěsy, proto při montáži pneumatik s označením “Z” je třeba si indexy zkontrolovat, zda odpovídají požadavkům.

Označení „FRT“ (Free Rolling Tyre) je speciální označení pro evropský trh a je pouze pro nápravy přípojných vozidel a jiné nápravy hnacích vozidel, které nejsou hnací ani řídící. Na žádné jiné nápravy nesmí být namontovány. [27]

Konstrukce desénů u nákladních automobilů se dělí na dráhové a terénní provedení. Dráhové provedení je určeno převážně na provoz po pevných vozovkách s drážkováním desénu v podélném směru. Jde o souvislé pásy figur, s občasnými prořezy.

Terénní konstrukce jsou charakteristické hodně rozměrnými žlábkami a velkými blokovými figurami, které jsou často uspořádány do šípového desénu. Šípový desén je konstruován jako samočisticí, protože při prokluzu vytlačuje nabíraný podklad do stran mimo vzorek a tím nedojde k přerušení záběrových vlastností. [1]

Rozdělení pneumatik podle typu desénu a jejich aplikování na vozovkách.

- Dálkové
- Pro úsporu paliva
- Pro kilometrový výkon
- Víceúčelové
- Lehké a střední nákladní vozidla
- Smíšený provoz – mírný, náročný
- Městská doprava (autobus)
- Dálková doprava (autobus)



- Pro speciální přepravu [30][28][29]

### 3.1.2 ZEMĚDĚLSKÉ STROJE

Těžká zemědělská vozidla jsou stále častěji využívána. Velkým požadavkem je provádět práce s co nejmenším počtem přejezdů na zemědělské půdě, aby nedošlo k umělému zhutnění půdy. Správná volba pneumatiky pro určité zemědělské vozidlo je nesmírně důležitá.

Pneumatiky a obecně celá kola jsou navržena tak, aby unesla celou hmotnost naloženého vozidla. Hlavní požadavky kladené na konstrukci jsou vysoká odolnost proti zatížení, vysoká odolnost při používání, možnost snadné montáže i demontáže (nebývá tak snadné u větší techniky), nízká hmotnost a nízké náklady.

Nejvyšší zatížení připadá na kostru pláště, proto je složena z několika kordových vrstev. Nitě mohou být vyrobeny z různých materiálů. Nejčastější jsou kovové nitě, polyamidová vlákna, skleněná vlákna a bavlněná. Typy koster máme radiální a diagonální. I v zemědělské technice převažuje konstrukce pneumatik radiálních, kvůli vyšší odolnosti, radiální pružnosti a nižšímu valivému odporu při nízkých rychlostech. Radiální pneumatiky mají tu výhodu, že lépe absorbují nerovnosti terénu, díky čemuž stroj neskáče a zanechává rovnou stopu. Jakmile se radiální pneumatika více zatíží, změní se její otisk v půdě do délky, a ne do šířky, jako u diagonálních, což je také velmi důležitý aspekt, kvůli užší vyjeté stopě. Diagonální jsou využívány především pro lesní či stavební techniku. [10][40]

#### DESÉNY RADIÁLNÍCH PNEUMATIK

**Industriální pneumatiky** – Trendem desénů zemědělských pneumatik používaných především pro těžké traktory a zemědělské stroje jsou velké extra hluboké drážky a bloky figur. Bloky jsou umístěny střídavě všechny jedním směrem, nejčastěji pod úhlem 45°. Tím je zaručen dobrý výkon při provozu na mokrému poli a desén má samočistící účinek. Tyto pneumatiky samozřejmě nejsou primárně konstruovány na silniční povrchy, ale stroje se po nich musí přemístit také, takže jsou optimalizované i na trakci na pevné vozovce. Samozřejmě jsou industriální pneumatiky určeny přímo i pro pojezd po pevných vozovkách, ovšem s částečně odlišnou stavbou desénu.

**Flotační pneumatiky** – Jde o další hojně využívaný desén. Tentokrát jsou figury položeny pod úhlem 23° a většinou se jedná o dvakrát tak širokou pneumatiku, kvůli zvolenému úhlu. Používají se jako náhrady za dvojmontáže pro měkké a blátivé terény. Tento desén zajišťuje rovnoměrné opotřebení, delší životnost, širší stopu s větší kontaktní plochou. Dvojnásobně širší plocha má výhodu rozložení zatížení, ovšem když je třeba vejít se do úzkých stop, musí být vyměněna za jiný typ. [10][40]



*Obr. 21 Typ flotační a industriální pneumatiky [23][40]*

### DESÉNY DIAGONÁLNÍCH PNEUMATIK

Mohou být stejné jak pro pneumatiky s radiální konstrukcí, jedinou změnou je vnitřní stavba konstrukce. Používané jsou pro teleskopické nakladače nebo pro stroje pracující v místech, kde jde o zamezení poškození povrchu, například louky a největší uplatnění mají na lesních strojích, kde zajišťují velkou odolnost i na bočnici proti proražení. [40]

#### 3.1.3 STAVEBNÍ A TĚŽEBNÍ STROJE

Pneumatiky těchto strojů jsou určeny převážně k jízdě v těžkých podmínkách (písek, štěrk, bláto, kamenitý terén, stavební prostory, lomy, ...). Tudíž je od pneumatik vyžadována vysoká odolnost vůči zatížení, vynikající trakce do všech směrů (vpřed, vzad, příčně) a vysoká odolnost vůči proříznutí.

Pneumatiky těžkých stavebních strojů se dělí na tři kategorie označení E, L a G. Každé označení má jiné složení směsi, jinou konstrukci a jsou optimalizovány na určitý druh práce. Pneumatiky s klasifikací E jsou pro zemní stroje (nakladače, dempra), L pro nakladače a dozery, G pro grejdry. Pneumatiky klasifikace E mají povolenou provozní rychlost maximálně do 50 km/h, L do 40 km/h a G do 15 km/h.

Stavební stroje využívají radiálních, diagonálních i pevných konstrukcí. Desény jsou opatřeny velkými bloky figur, hlubokým desénem pro ochranu kostry před prořezáním či propíchnutím. Velké mezery mezi bloky desénu zajišťují více otevřený desén a lépe se chladí, na druhou stranu užší mezery zajišťují větší odolnost a životnost. [41]

### 3.1.4 LETADLOVÉ PNEUMATIKY

Nedílnou součástí letadel jsou i pneumatiky, které musí splňovat velké požadavky výrobců. Letadlové pneumatiky zdaleka nevydrží stejné vzdálenosti, jako třeba pneumatiky osobních či jiných nákladních automobilů. Za to musí vydržet obrovská rázová zatížení při vzletu i přistání, nést velké hmotnosti, být co nejlehčí a zvládat vysoké rychlosti s vysokou akcelerací (uvádí se z 0 do 290 km/h za vteřinu). Jsou navrženy tak, aby se mnohem více elasticky deformovaly, kvůli vzniklým nárazovým zatížením při přistávání a aby odolaly poškození cizími objekty. Pneumatiky jsou nejčastěji nahuštěny dusíkem kvůli minimalizaci expanze a kontrakce, které mohou nastat extrémními změnami teplot během letu v rozmezí  $-50^{\circ}\text{C}$  až  $150^{\circ}\text{C}$ . Pneumatiky letadel jsou huštěny vysokými tlaky, a to u běžných dopravních letadel přibližně 14 bary. [24]

Každé letadlo má předepsané konkrétní pneumatiky, které jsou klasifikovány jejich rozměry, pevností a konstrukcí, aby byl zajištěn bezpečný provoz. V dnešní době se letecké pneumatiky dělí do tří klasifikačních typů, které používají téměř všechny třídy letadel z devíti možných klasifikačních typů.

- **Typ III** – Jedná se o nízkotlaké pneumatiky, používané převážně u lehkých letadel a s průměrně nízkou přistávací rychlostí. Snadná identifikace je podle malého ráfku ve srovnání s šířkou. Označeny jsou systémem dvou čísel, z nichž první je jmenovitá šířka pneumatiky a druhé číslo průměr ráfku, na kterou lze pneumatiku namontovat. Rozdělené mezi sebou jsou pomlčkou.
- **Typ VII** – Tento typ určuje vysokotlaké pneumatiky, které snesou velké zátěže a velké rychlosti. Jsou montovány například na proudových letadlech. Jsou také značeny dvěma čísly jako u výše zmíněného typu III, ale první číslo označuje vnější průměr pneumatiky, druhé jmenovitou šířku pneumatiky a rozděleny jsou znakem násobení.
- **Typ VIII** – Je označen třemi čísly a zahrnuje konvence obou částí III a VII. První číslo udává vnější průměr, druhé jmenovitou šířku pneumatiky a třetí je průměr ráfku. Dnes se jedná o nejpokročilejší pneumatiky, které jsou určeny pro provoz s vysokými tlaky, ve vysokých rychlostech a montované jsou na velká proudová letadla. [25]

### KONSTRUKCE LETADLOVÝCH PNEUMATIK

Konstrukce jsou obecně také tvořeny patkou, bočnicí, běhounem a kostrou pláště.

Pneumatiky, které jsou konstruovány na vyšší rychlosti a vyšší zatížení, mohou mít více patních lan nebo obsáhlejší svazky patních lan.

Bočnice pneumatik jsou tenké vrstvy pryže, které chrání před poškozením vnitřní stavbu pláště. Hlavní změnou oproti jiným pneumatikám je, že do bočnice jsou zabudovány malé větrací otvory, které umožní uniknout zachycenému vzduchu ve vrstvách. Částečně tak omezí tvorbu delaminací v jednotlivých vrstvách v důsledku změn nadmořské výšky a teploty. [26]

Kostra pláště je u letadlových pneumatik rozdělena na dva typy radiální a diagonální. Kostry jsou tvořeny nylonovými tkaninami a prokládané tenkými vrstvami gumy. Radiální kostra je konstrukčně stejná jak v odstavci 1.6.3 a kostra diagonální je navíc obohacena o další výztužné vrstvy pod běhounem ve směru otáčení kol, kvůli větší pevnosti. Radiální kostra pláště převažuje i v letecké dopravě.

Běhoun musí odolávat velkému tření, oděru, praskání a řezům, ke kterým dochází ve spojení s přistávací plochou. V základu se dělí na tři typické vzory desénu pneumatiky Rib Tread, Cross

Tread, Smooth Tread. Většina pláštů má na desenu drážky v obvodovém směru, což zajišťuje kvalitní provozní vlastnosti i za mokra a napomáhají při chlazení pneumatiky. Tento styl charakterizuje pneumatiku Rib Tread (pneumatika s žebrovým běhounem), která je obecně vhodná na předem připravené přistávací dráhy. Cross Tread (křížový běhoun) je vyřezán hluboko do běhounu pláště v křížovém stylu a zajišťuje lepší trakci v měkkém terénu. Je vhodný pro nezpevněné povrchy, naopak kvůli menší styčné ploše se nehodí na tvrdé, asfaltové povrchy. Smooth Tread (hladký běhoun) je bez žebrování a jakýchkoliv výřezů. Poskytuje tak nejlepší trakci, největší styčnou plochu a díky tomu největší třecí sílu, která pomáhá při zastavení letadla. Všechny tři typy jsou znázorněny na Obr. 22 [25][24]



Obr. 22 Vzory desenu letecké pneumatiky [25]

### 3.2 PNEUMATIKY OSOBNÍCH AUTOMOBILŮ

Protože se jedná o nejzastoupenější kategorii, je u osobních automobilů kladen důraz téměř na všechny parametry pneumatik. Především však na hladkou a tichou jízdu, valivý odpor kvůli spotřebě paliva, optimalizovanou životnost, nízkou hmotnost a dostatečnou trakci. Do popředí se stále víc a víc dostávají velké, široké, nízkoprofilové pneumatiky, ač tomu tak před pár lety ještě vůbec nebylo. Pneumatiky osobních automobilů se dělí dle typu účelu, druhu desenu.

Pneumatiky dle účelu a segmentu:

- **Komfortní** – Hlavním požadavkem je příjemný kultivovaný chod, který dobře vymezuje nerovnosti a tlumí rázy. Další výhodou je tichost a vyšší kilometrový nájezd.
- **Celoroční** – Tyto pneumatiky jsou schopné poskytovat stabilní výkon za každého počasí. Díky spoustě žlábkům odvádějící vodu ze spodu běhounu poskytují vynikající odolnost vůči aquaplaningu a zvládají i lehký sníh či led. Jsou vhodné pro oblasti s často se měnícími podmínkami. Tvrdosti směsi jsou srovnatelné se zimními nebo letními pneumatikami.

- **Offroad 4x4** – Mají větší bloky figur, navržené tak, aby měly co nejlepší trakci na jakémkoliv povrchu (bahno, silnice, kamení, šotolina). Podle potřeby jsou rozdělené ještě na další tři úrovně podle použití. Highway Terrain (H/T) jsou navržené pro 90 % použití na silnici a 10 % v terénu, mají menší bloky běhounu, proto nejsou tak schopné v terénu, ale jsou tišší a odolnější. All Terrain (A/T) mají větší, širší bloky s většími mezerami mezi nimi a jsou určeny pro 60 % použití na silnici a 40 % v terénu. Mud Terrain (M/T) jsou určeny pro 15 % užití na silnici a 85 % v terénu. Bloky jsou velmi agresivní a obepínají i bočnice, což je obrovskou výhodou, kdy při nižším tlaku pneumatik se rozšíří kontaktní záběrová plocha a pneumatiky zdolají takřka vše.
- **Sportovní** – Označované také jako UHP (Ultra High Performance), které jsou určeny pro velmi výkonné automobily nebo pro nízkoprofilové pneumatiky. Často nemají ani standardní výšku desénu, kvůli lepší adhezi. Disponují svou vysokou tuhostí, odolností při vysokých rychlostech, již zmíněnou adhezí a trakcí. Za to nejsou tak přizpůsobivé vozovce. Jízda je podstatně hlučnější a tvrdší. Vydrží mnohonásobně déle než závodní pneumatiky, ale oproti celoročním pneumatikám jsou ještě stále pozadu.
- **Ekonomické** – Jsou navržené pro řidiče, kteří vyžadují od pneumatik dobré jízdní vlastnosti s dobrou životností a za nízkou cenu. [33] [36]



Obr. 23 Druhy osobních pneumatik

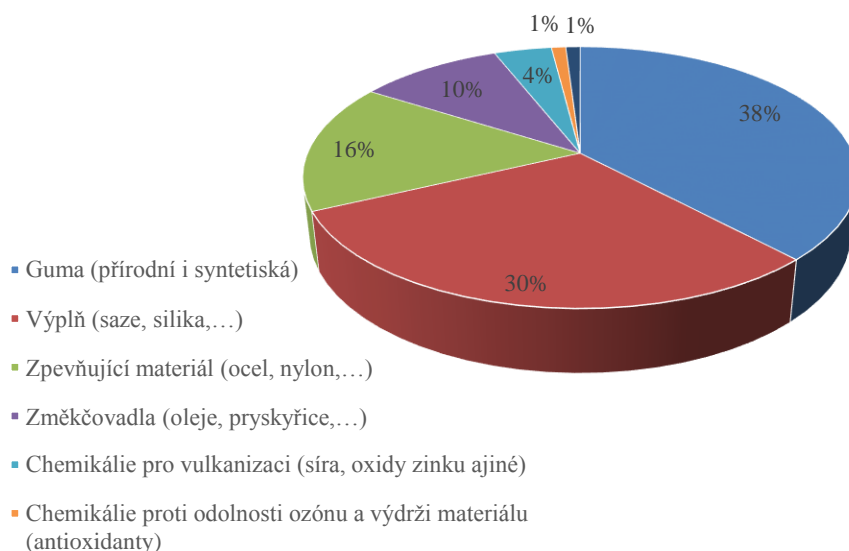
Podle typu desénu:

- **Symetrický** – Jak už z názvu vyplývá, jedná se o symetrický desén, takže je jedno v jakém směru rotace nebo vnější/ vnitřní strany je nazut na disk. Žlábkové a figurální prvky jsou zrcadlově převráceny podle směru rotace. Výhodou tohoto desénu je jeho vyváženost na jakémkoliv povrchu a funkčnost na mokré i suché vozovce s vysokou brzdovou účinností.
- **Směrový** – Desén směrový také tzv. „šípový“ má konkrétně určený směr otáčení při jízdě. Figury desénu mají tvar šípového charakteru a na celém běhounu jsou žlábkové prvky tvořeny jedním směrem, pro odvod vody nebo sněhu. Vyznačuje se výborným odvodem vody, jízdní stabilitou a vedením vozidla. Tento typ desénu se používá především v zimním provozu, jelikož drážkami je lépe odváděn sníh. Nevýhodou bývá vyšší hlučnost a nižší kilometrový nájezd.
- **Asymetrický** – Jde o moderní desén, který je kombinací směrového a symetrického. Běhoun je rozdělen na dvě části, tzv. vnější a vnitřní (Outside/Inside), což značí, jakou

stranou má být plášť na disk nasazen. Každá strana je specifická pro danou funkci. Vnější strana má za úkol vedení vozidla a zajištění stability při jízdě v zatáčkách, díky zpevněné vnější hraně. Vnitřní strana má za úkol správný odvod vody a přenos záběrových a brzdících sil vůči vozovce. [33]

Obecné složení materiálů osobních pneumatik v Graf č. 1. [32]

Graf č. 1 - Složení pneumatik osobních automobilů



### NÍZKOPROFILOVÉ PNEUMATIKY

Za nízkoprofilové pneumatiky se považují ty, jejichž poměr výšky profilu vůči šířce je 55 % a nižší. Hlavní konstrukční změnou je tedy snížení bočnice, rozšíření běhounu a zesílení patky, která už v některých případech téměř tvoří samotnou bočnici.

Nízkoprofilové provedení pneumatik se vyznačuje lepší ovladatelností ve vyšších rychlostech a prudších manévrech. Reakce při řízení jsou přesnější. Nízká bočnice se méně deformuje, tím dojde ke zvýšení maximální adheze vzorku a lépe odolá příčným silám. Pneumatika díky širšímu běhounu má větší styčnou plochu, která zajistí lepší ovladatelnost a zkracuje brzdnou dráhu na mokrému i suchém povrchu. Kvůli větší styčné ploše vzniká, vyšší tření a hluk. Nevýhodou pneumatik je horší absorbovatelnost nerovností na vozovce a vyšší působení setrvačných sil, které mají vliv na zavěšení celých kol a náprav. Nízkoprofilové pneumatiky jsou náchylnější na poškození kvůli nižší výšce profilu a malé deformovatelnosti. [31]

### PNEUMATIKY RUN-FLAT

Jsou tzv. dojezdové pneumatiky, které slouží pro nouzové dojetí po úniku vzduchu. Jde o klasickou pneumatiku s vyztuženými bočnicemi umožňující dojezd bez vzduchu, a to až do rychlosti 80 km/h a pro vzdálenost cca 100 km. Tyto dva parametry si stanovují výrobci pneumatik sami. Dojezd při defektu je zajištěn výrazným zpevněním bočnic, které je často až nežádoucí, kvůli absorbování nežádoucích nárazů na vozovce, protože je pneumatika opravdu tvrdá. Nežádoucí vlastností je také vyšší hmotnost. Každý výrobce má pro dojezdovou technologii své označení, ale ve většině případech je použito označení Run-Flat.

### SAMOZACELOVACÍ PNEUMATIKY

Jde o technologii vyvinutou pro zacelení poškození běhounu pneumatiky. V případě propíchnutí nežádoucím předmětem do průměru 5 mm, jako je třeba hřebík, není třeba hned zastavit a měnit pneumatiku. Pneumatika je vyplněna lepivou viskózní těsnicí vrstvou ve vnitřní části pláště pod běhounem. Díru okamžitě utěsní a pneumatika tak ztratí jen malý tlak. I po zacelení je vhodné zajet do pneuservisů, aby defekt řádně utěsnili, ovšem bez senzorů snímání tlaku v kolech si toho člověk nemusí ani všimnout. [17]

### VÍCEVRSTVÁ STRUKTURA PNEUMATIKY

Ve vícevrstvých strukturách běhounu se mohou ovlivnit vlastnosti pneumatiky pomocí různých pryžových vrstev. Do mezivrstvy pod běhounem pláště, je vložena mikro molekulární nanosiliková směs, která je lepší pro přenos pohybů řízení, než u běžné pryžové směsi. Nejnížší vrstva vícevrstvé struktury je tvořena mimořádně tuhou pryžovou směsí, která snižuje tvorbu teploty a snižuje valivý odpor pneumatiky. Takže se zvýší odolnost pneumatiky a sníží se spotřeba paliva a škodlivých emisí. [34]

## 3.3 PNEUMATIKY ZÁVODNÍCH VOZIDEL

Závodní pneumatiky jsou jednou z nejdůležitějších součástí závodního vozu. Ať už se jedná o závodní pneumatiky pro nákladní, jednoosobná, osobní nebo jiná závodní vozidla, vždy je nejdůležitější adheze, skvělá ovladatelnost a tím je zaručena i celková bezpečnost. Závodní pneumatiky se od všech liší tím, že jsou dobré a spolehlivé jen při určitém teplotním rozsahu, který bývá zpravidla velmi malý. Užívání závodních pneumatik na veřejných komunikacích je zakázáno.

Závodní pneumatiky jsou specializované a vyráběné podle vozidla, tratě a povolených mezinárodních pravidel, například FIA (Mezinárodní automobilová federace). Zahrnují pneumatiky pro dragracing, driftování, silniční závody (Formule, MotoGP, IndyCar, NASCAR, rallye a další). Pneumatiky jsou konstruovány pro konkrétní závodní dráhy, podle povrchových podmínek, zatížení v zatáčkách a teplot drah s cílem minimální hmotnosti. Téměř všechny závodní pneumatiky se vyrábí bezdušové, právě kvůli úspoře hmotnosti. Desény jsou uzpůsobeny tak, aby tzv. co nejvíce lepily, takže jsou měkké a konstruované na úkor životnosti. Životnost závodních pneumatik je oproti klasickým pneumatikám řádově nižší. [36]

Pneumatiky jsou vyráběné z mnoha komponent, které jsou na sebe skládány a při určité teplotě a tlaku vytvářeny v lisu. U závodních pneumatik je adheze hlavní rolí pro schopnost brzdit, jet rovně a zatáčet při vysokých rychlostech. Proto je u těchto pneumatik potřeba speciálních polymerů, které umožňují lepší stlačování pneumatiky v místě dotyku běhounu s povrchem vozovky a při vysokofrekvenčních cyklech pruží zpět do původního tvaru. K hlavním komponentům patří přírodní kaučuk, nejdůležitější látkou je polyisopren. Kvůli cenovým nákladům je doplňován i syntetickým kaučukem. Polybutadien je přidáván kvůli nízké tvorbě tepla. Brombutylová směs je určena pro bezdušové pneumatiky, kvůli nízké propustnosti vzduchu nebo dusíku. Saze s oxidem křemičitým tvoří u závodních pneumatik velké zastoupení, protože vytváří skvělou odolnost proti oděru a vysokým teplotám. Podle počtu sírných vazeb vzniklých při vulkanizaci může být výsledná sloučenina velmi měkká, kvůli nízkému koeficientu tuhosti potažmo pružnosti nebo extrémně tvrdá, kvůli vysokému koeficientu. Teplota a intenzita zatížení (frekvence kontaktu s tratí při určité rychlosti vozu) mají protichůdné vlivy. Pokud bude kontaktní frekvence příliš vysoká, gumová směs tuhne

(stává se křehkou) a ztrácí veškerou viskozitu (to znamená, že „neteče“ a nedotvaruje se tak dobře vůči vozovce). Teplota má přesně opačný účinek. Při chladných podmínkách je sloučenina tuhá a křehká, jakmile teplota stoupá měkne a stává se vláčnou. Přílnavost je tedy vytvořena molekulární interakcí v místě kontaktu pneumatiky s vozovkou. Když se kolo pohybuje část běhounu se v daném bodě fyzicky dotýká povrchu a její molekuly se prodlužují, dokud se nepřetrhnou ve spojení s vozovkou a elasticky vrátí zpět. K posílení koster se používají zejména kevlarová neboli aramidová vlákna. Na základě tohoto je vhodné správně zvolit směs pro komponenty závodních pneumatik. [35]

Příklad pneumatik Formule 1 v Tab. č. 3. [18]

Tab. č. 3 Přehled pneumatik Formule 1[18]

Typ	Barevné označení	Desén	Podmínky
Super měkké	Červená	Bez drážkování (slick)	Sucho
Měkké	Žlutá	Bez drážkování (slick)	Sucho
Střední	Bílá	Bez drážkování (slick)	Sucho
Tvrdé	Oranžová	Bez drážkování (slick)	Sucho
Přechodné	Zelená	Mělké drážkování	Mokro (vlhká vozovka)
Na mokro	Modrá	Hluboké drážkování	Mokro (stojící voda)

První čtyři typy pneumatik v Tab. č. 3 od super měkkých, až po tvrdé jsou označovány jako „slicks“ pneumatiky. Super měkké pneumatiky dosahují vysokých rychlostí, ale velmi rychle se zhoršují jejich jízdní vlastnosti kvůli značnému opotřebení. Tvrdé jsou odolnější, ale nenabízejí tolik přílnavosti. Zbývající dva typy jsou drážkované a pneumatiky „Na mokro“ dokážou vytěsnit až 60 litrů vody za sekundu, oproti osobním, které vytěsňují vodu do 15 litrů za sekundu. Mokrá pneumatika je vyráběna také z měkké pryže, využívá větších a hlubokých drážek. Tím že je vyráběna z měkké gumy se zahřívá rychle i za deště a neztrácí adhezi na trati.





Obr. 24 Přehled pneumatik Formule 1 [36]

Když trať uschne, pneumatika do mokra se nestačí chladit a dochází k přehřátí, že se guma doslova lepí na povrch dráhy a zpomaluje tak vozidlo. [36]

U závodních pneumatik dochází k přetížení až 5 G oproti osobním, kde nastane přetížení okolo 1 G. Tyto tlaky a síly pneumatiky zvládají kvůli tuhé vnitřní kostře z nylonu, oceli, umělého hedvábí a polyesteru. Pneumatiky jsou plněny dusíkem, protože se při zahřívání tolik neroztahuje jako vzduch. [18]

Jednou zajímavostí jsou pneumatiky používané v závodech NASCAR, kde se přidává druhá vrstva gumy přichycená k ráfku v prostoru klasického vzduchu pneumatiky, označována jako druhá pneumatika, která má svůj přívod vzduchu a slouží jako pojistka v případě, že exploduje vnější pneumatika. Závodníci jsou tak schopni zvládnout danou situaci a v ten moment neohrozí jiné závodníky. [36]

### 3.4 PNEUMATIKY JEDNOSTOPÝCH VOZIDEL

Pneumatiky jednošlapových vozidel se zejména odlišují svým specifickým tvarem od ostatních vozidel. Kromě typických požadavků na pneumatiky, jako je například dobrá trakce, odpružení, nízká hmotnost, je také velmi důležitá přilnavost po celém zakřivení běhounu, a to včetně bočnic. U těchto pneumatik jsou zásadní vypouklé běhouny, protože veškeré síly a momenty jsou přenášeny pouze pomocí dvou kol namísto čtyř a více.

Konstrukce pneumatik hlavních motocyklových částí je složením stejná jako třeba u osobních pneumatik, jen v jiném množství a uspořádání vrstev. Konstrukce pneumatik máme pro motocykly tři radiální, diagonální, semiradiální. [39]

#### DIAGONÁLNÍ KONSTRUKCE

Konstrukce pro diagonální pneumatiky je složena z běhounu, patek, patních lan, vložek kostry a bočnice. Dříve hojně používané, dnes už volené převážně jen pro terénní účely, kde mají svou výhodu díky pevné struktuře, silné bočnici a odolnosti proti proražení. Maximální povolená rychlost u diagonálních pneumatik je 240 km/h. Kostry jsou vyráběné z nylonu nebo rayonu. [8]

### SEMIRADIÁLNÍ KONSTRUKCE

Je vyvinuta z diagonálních pneumatik a jde o radiální pneumatiku s diagonální kostrou tzv. Bias belted. Hlavní podstatou je zpevněná konstrukce pod desénem, což zajistí pneumatice delší životnost, díky zmenšení příčných klouzavých pohybů, a ještě zajistí odolnost proti poškození. Příčné prokluzování je dáno konstrukcí pneumatiky, kvůli deformaci pneumatiky do stran při její rotaci. Čím větší bude prokluz, tím větší bude opotřebení. Zpravidla jsou pneumatiky vyráběny, tak jako diagonální z rayonu či nylonu. Nárazníkový pás je vyroben z kevlaru. [8]

### RADIÁLNÍ KONSTRUKCE

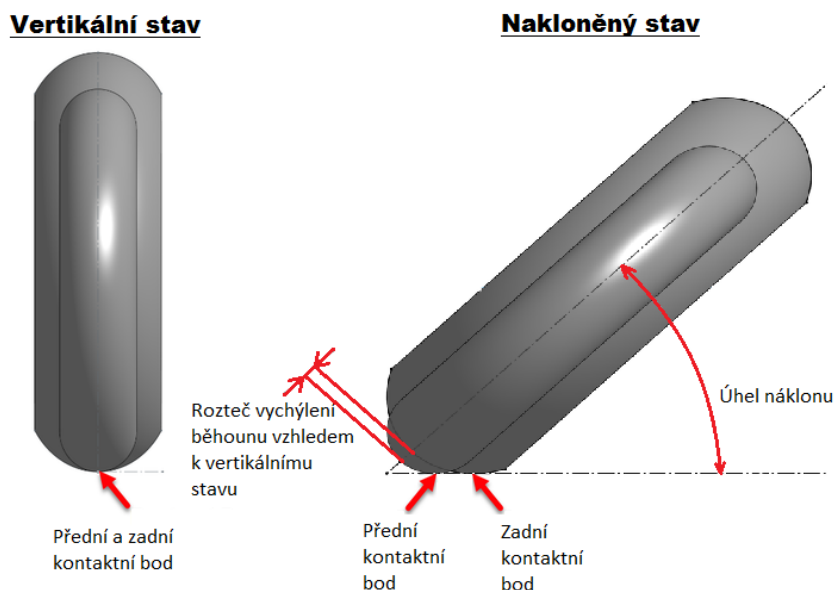
Dnes již nejčastěji používaný typ pneumatik i u jednostopých vozidel. Konstruovány jsou z pásů pokládáných v pravém úhlu k ose rotace pláště a nárazníkové vrstvy pokládané v rozmezí 0°-25° úhlu. To dodává pneumatice stabilitu, protože je podstatně snížena odstředivá síla. Nižší tloušťka bočnice zajistí, že se pneumatika tolik nezahřívá a tyto faktory pneumatice umožní dosahovat mnohem vyšších maximálních rychlostí i přes 300 km/h.

Radiální konstrukce mají větší životnost, skvělé boční vedení a lepší adhezi k vozovce, menší vnitřní deformace, lepší přenos brzdných sil i při náklonu v zatáčkách a menší hmotnost, čímž mají i menší neodpruženou hmotnost. [8]

#### 3.4.1 ROZDÍLY PNEUMATIK PRO JEDNOSTOPÁ VOZIDLA

Zadní pneumatiky se podstatně liší ve vzorku a velikosti oproti předním. Zadní pneumatiky mají silnější vzorek s většími bloky plného materiálu s širším drážkováním, kvůli přenosu hnací síly. Podle zadních pneumatik se dají také očividně rozlišit čistě silniční nebo sportovní pneumatiky. Sportovní budou mít opravdu málo vzorku, za to jsou pláště vyráběny z tvrdšího a silnějšího materiálu. [18]

U jednostopých silničních motocyklů se nasazují pláště předních kol v opačném směru dle viditelného směrového desénu na pneumatice. U jakýchkoliv jiných vozidel jsou desény dělané s drážkováním ze středu pneumatiky směrem ven z prostoru pod pneumatikou. U jednostopých vozidel je ale malá pravděpodobnost sklouznutí po vodě v přímém směru, kvůli působící celé váze motocyklu na vytlačení vody pod pneumatikami. Ovšem při naklonění motocyklu v zatáčce, se těžiště vychýlí a na gumu působí menší tlak. Proto se na předních pneumatikách dělají drážky tak, aby při naklonění voda odtékala z kraje pneumatiky na střed, tedy ven, a zamezilo se nežádoucímu jevu, že se voda při náklonu bude ještě více tlačit pod pneumatiku Obr. 25. Možné drážkování je vidět na Obr. 26, kde na přední pneumatice je opravdu opačné směrové drážkování než na zadní pneumatice, která je drážkována v klasickém směru jízdy.



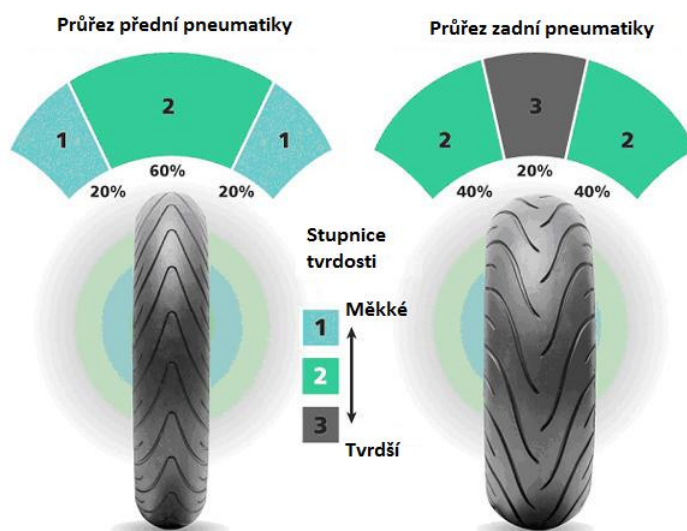
Obr. 25 Rozložení kontaktních bodů [18]

Terénní pneumatiky mají výrazný hrubý vzorek. Silniční pneumatiky pak mají jemný vzorek s různě tvarovanými podélnými a příčnými drážkami a s jednou nebo více podélnými drážkami po obvodu kola. U motocyklů jsou také pneumatiky bezdušové nebo s duší. S duší se používají u terénních motocyklů, protože se používají vyplétaná kola, která nejsou vhodná pro bezdušové pneumatiky.

Značení je podobné jako v kapitole 2.1 pouze pro motocykly je pár odlišných zkratk. Mezi hlavní, které u čtyřkolových vozidel nenajdeme, patří značení zadní pneumatiky R (Rear) a označení přední pneumatiky F (Front). Pneumatiky označené NHS (Not for Highway Service) jsou pneumatiky určené pro okruhy a nejsou homologované pro silniční užívání. Zkratka ULW (Ultra Low Weight) znamená ultra lehkou konstrukci. [8] [39]

### VÍCESMĚSOVÉ PNEUMATIKY

Pneumatiky jednostopých vozidel se rozdělují do více kategorií, a to dle volby směsi pneumatik. Vícesměsové pneumatiky kombinují vysoký kilometrový nájezd s výborným jízdním komfortem. Velmi často jsou dvousměsové, protože vnitřní středová část pneumatiky je tvořena z tvrdší pryže, která brání oděru, a bočnice jsou z měkké pryže, aby zlepšily přilnavost a komfort při jízdě. Měkčí bočnice se při naklonění v zatáčce částečně rozlejí, tím dochází ke kontaktu s vozovkou a následně větší adhezi. Přibližné procentuální rozdělení směsi běhounu a bočnic je znázorněné na Obr. 26. Zde je patrné, že na zadní pneumatiku, která je poháněná, se volí ještě tvrdší materiál, aby se sjížděly pneumatiky rovnoměrně s přední a vydržely vyšší kilometrový nájezd. [18]



Obr. 26 Vicesměšové jednostopé pneumatiky [12]

## 4 MODERNÍ TECHNOLOGIE A BUDOUCÍ VÝVOJ PNEUMATIK

Na nové technologie pneumatik, případně úplně jiné koncepce a struktury se zaměřují, alespoň z části, úplně všichni výrobci pneumatik. Mezi největší průkopníky v současné době samozřejmě patří Michelin, Goodyear, Continental, Bridgestone, Hankook.

### 4.1 BEZVZDUCHOVÉ PNEUMATIKY

Mezi moderní a stále se vyvíjející technologie v současné době patří i vývoj bezvzduchových pneumatik, které není možné propíchnout. Jako první s nápadem přišla firma Michelin roku 2004 a vydala první model s názvem Tweel. Ten obstál u vojenské a průmyslové techniky, ale u osobních automobilů zatím ne. Důvodem jsou vysoké rychlosti, které pneumatiky nejsou schopné zvládat, protože celá kostra je tvořena syntetickým polyuretanem. Ten se při vyšších rychlostech rychle přehřívá a měkne, což způsobí ztrátu stability a ovladatelnosti. Opačný jev, je taktéž nežádoucí, protože při velkém chladu dochází k výraznému tvrdnutí, tudíž nepruží. Na odpověď na otázku, zda se podaří vymyslet směs, která tyto nedostatky vyřeší, si ještě pár let počkáme. [18]

Nový prototyp bezvzduchové pneumatiky UPTIS (Unique Puncture-proof Tire Systém), který byl představen opět firmou Michelin ve spolupráci s General Motors roku 2019, je na bázi 3D tisku ze směsi kompozitního kaučuku, sklolaminátu a pryskyřice. Hlavními výhodami těchto pneumatik jsou snižující se počet proražených pneumatik, které se předčasně vyřadí, snížení množství surovin, energií a emisí spojených s výrobou dojezdových pneumatik, eliminují nesouměrné opotřebení způsobené přehušťováním nebo podhušťováním a tím spotřebu a emise. Pokud obstojí v testování, na trh by mohly přijít v roce 2024.

Firma Michelin přišla ještě s možností, že princip 3D tisku by nebyl založený na klasické kombinaci materiálů guma a kov, ale že by se tisklo celé kolo jako celek z určité směsi, která by zajistila potřebnou pevnost, odolnost, a přitom byla schopna vyrovnávat nerovnosti vozovky. Na obvodu kola by byla struktura s odolným vzorkem, jež by se dala měnit a doplňovat dotiskem. Odpadla by tak nutnost přezouvání a na zimní období by se tiskl zimní vzorek. Toto je však zatím vize budoucnosti. [37]



Obr. 27 Bezvzduchové pneumatiky Michelin [18]

## 4.2 TARAXAGUM

Roku 2014 představila firma Continental první testovací pneumatiky vyrobené z nového materiálu, který dostal název Taraxagum (botanický název pampelišky). Jde o alternativní materiál použitý místo klasického přírodního kaučuku. Místo brazilských kaučukovníků jsou použity kořeny pampelišek. Ekologický přínos spočívá především v pěstování pampelišek téměř kdekoli na zemi a ve snížení eliminace ohrožených tropických lesů. V současné době probíhají práce na dokončení testovacích zařízení v laboratoři Lab Anklam a dostupné jsou pouze pláště na jízdní kola. Po dokončení zařízení by mohla začít výroba naplno. [11]

## 4.3 CONTISILENT

Protože se pneumatiky významně podílí na tvorbě hluku, který s vyšší rychlostí vozidla stále vzrůstá, vymyslela společnost Continental novou technologii s cílem snížit hlučnost pneumatik. Princip spočívá v polyuretanové pěně s polyetherovým základem. Ta je nanášena na vnitřní stranu pláště pod běhoun, a aniž by negativně ovlivňovala jízdní vlastnosti, tlumí vibrace uvnitř pláště. Pěna je velmi lehká a s rostoucí teplotou se nikterak nemění její struktura. Pěna absorbuje vibrace vznikající při valení pneumatiky a utlumí hluk až o 9 dB. [11]



Obr. 28 ContiSilent [11]

## 4.4 GOODYEAR EAGLE – 360

Jedním z možných, ale hodně vzdálených budoucích konceptů jsou sférické pneumatiky Eagle – 360. Ty byly představeny v roce 2016 společností Goodyear. Tento koncept již nespočívá v klasickém tvaru dnešních pneumatik, ale ve futuristické vizi tzv. kulových pneumatik, které budou určené především pro autonomní automobily. Tato představa by měla zcela změnit způsob odpružení, brzdných systémů a kompletního uložení náprav současných automobilů. Kulové pneumatiky by měly být k vozidlu připevněny pomocí magnetické levitace. Koule by měly umožňovat prakticky jakýkoliv pohyb vozidla do všech směrů. Běhoun by byl na kouli tištěn pomocí 3D tisku a v drážkách běhounu by byl speciální materiál, který by při kontaktu s vodou měknul a smršťoval se, čímž by zvýšil odolnost vůči aquaplaningu. Za sucha by materiál tvrdnul a poskytoval velkou tuhost pro lepší výkon. Senzory kol budou snímat opotřebení a upravovat otáčení pneumatiky, tak aby poskytovaly maximální výkon. Zatím jde opravdu pouze o vizi. Není ani jasné, jaký by byl způsob pohonu, jak by fungovalo zavěšení na



magnetické levitaci, styčná plocha kulových pneumatik by byla příliš malá a náklady by byly nevyčíslitelné. [36][11]



*Obr. 29 Goodyear Eagle – 360 [11]*

#### 4.5 TILTREAD

Zatím pouhá počítačová vize společnosti Hankook. Na první pohled se téměř neliší od současných pneumatik, ale v zásadě se liší hodně. Dynamická pneumatika Tiltread je složena ze tří dílů konstrukce s jednotlivými motory pohánějícími vnitřní, střední a venkovní část. Tyto pneumatiky jsou primárně určené pro sportovní/ závodní vozidla, která potřebují ostře zatáčet a pomohou jim v tom právě pneumatiky Tiltread. Každý díl se sklápí dle potřeby průjezdu zatáčky v závislosti na sobě a vytváří mnohem větší kontaktní plochu. Styčná plocha mezi vozovkou a pláštěm je pořád stejná i v zatáčce, kvůli vyrovnaní sil působících na tři části současně stejně. [36]

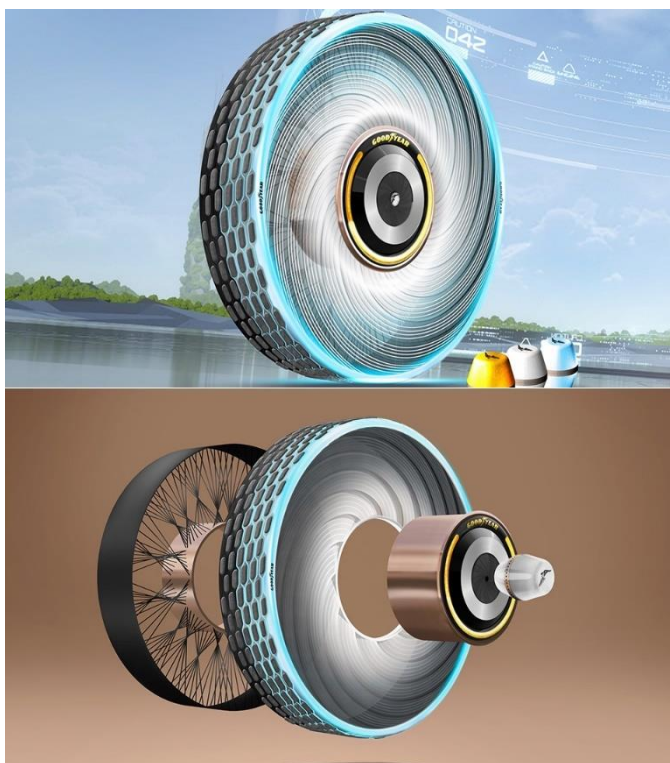


*Obr. 30 Pneumatika Tiltread [36]*

## 4.6 GOODYEAR RECHARGE

Koncept reCharge firmy Goodyear by mohl být revoluční samoregenerační pneumatikou budoucích elektromobilů. Jde až o utopický koncept futuristické konstrukce pneumatiky, která by se podle vize měla obnovit či opravit po vložení speciální kapsle. Jádrem konceptu je biologicky rozložitelná a obnovitelná směs běhounu, kterou by bylo možné nabíjet pomocí kapslí. Nosná konstrukce obsahující drobné kanálky jdoucí od náboje kola k běhounu, slouží k přenosu kapalné směsi z kapsle, jež umožňuje regeneraci běhounu. Kapalné směsi se časem budou moct uzpůsobovat klimatickým podmínkám. Každý řidič bude mít směs přizpůsobenou přímo jeho profilu a změna zimního přezutí nebo doplnění sjetého desénu by bylo pouze o zasunutí kapalné směsi.

Směs by měla být tvořena biologickým materiálem a vyztužena nejpevnějšími vlákny světa. A to pavoučími vlákny. Díky tomu by byla plně rozložitelná a extrémně odolná. Zda někdy něco takového bude, je jen otázkou. [38]



Obr. 31 Pneumatika ReCharge Goodyear [38]



## ZÁVĚR

V této práci je obecné shrnutí historie, značení a porovnání možných konstrukcí pneumatik. Konstrukce pneumatik je nejprve pro lepší informovanost shrnuta a vysvětlena obecně podle názvů jednotlivých částí a následně porovnána v jednotlivých kategoriích.

Každý typ konstrukce pneumatik je jiný a má své specifické vlastnosti a záleží pouze na řidiči k jakému využití je potřebuje. Srovnání pneumatik v jednotlivých kategoriích slouží k názornějšímu pohledu, k jakému účelu jsou pneumatiky v dané kategorii určeny, co se od nich očekává, jakou stavbou, strukturou se liší od ostatních a jak se od sebe vizuálně liší. Protože každý výrobce má své obsahy, poměry a některé složky směsí pro konstrukci pneumatiky skryté, nedají se porovnávat číselně či v nějakých konkrétních datech. Taktéž se nedají srovnávat brzdné dráhy, valivé odpory či jiné jízdní vlastnosti několika různých kategorií.

Konstrukce pneumatik se neustále vyvíjí, mění a nároky na ně se zvyšují. Malá zmínka je i o moderních nebo budoucích technologiích, které je potřeba brát s větším nadhledem.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. 2.vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-239-0024-2.
- [2] PITUCHA, Emanuel. *Pneumatiky: výroba údržba opravy*. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1961.
- [3] MARCÍN, Jiří. *Pneumatiky: výroba, použití, údržba*. Praha: SNTL, 1976.
- [4] MARCÍN, Jiří a Petr ZÍTEK. *Pneumatiky: Gumárenské výroby*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, n.p., 1985.
- [5] KRMELA, Jan. *Systémový přístup k výpočtovému modelování pneumatik I*. Brno: Tribun EU, 2008. ISBN 978-80-7399-365-8.
- [6] KNAPČÍKOVÁ, Lucia, Josef HUSÁR a Marcel FEDÁK. *Opotrebovaná pneumatika - materiál budoucnosti*. Brno: Tribun EU, 2016. ISBN 978-80-263-1068-6.
- [7] VLK, František. *Teorie a konstrukce motocyklů*. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1601-7.
- [8] VLK, František. *Teorie a konstrukce motocyklů*. 2.vyd. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1601-7.
- [9] ŠAFRÁNEK, Martin. *Vznik a vývoj gumy. Gumex: pružné partnerství* [online]. [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://www.gumex.cz/blog/vznik-a-vyvoj-gumy-118>
- [10] KULOVANÁ, Eliška. *Z historie vývoje pneumatik. Mechanizace zemědělství* [online]. 2001 [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://www.mechanizaceweb.cz/z-historie-vyvoje-pneumatik/>
- [11] SAIDL, Jan. *Konstrukce pneumatiky. Autolexicon.net* [online]. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/konstrukce-pneumatiky/>
- [12] *Funkce pneumatiky. RAL PNEU* [online]. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: <http://www.ralpneu.cz/13961/funkce-pneumatiky/>
- [13] *Pneumatiky - konstrukce. AutoZnalosti: Víme co je pod kapotou* [online]. 2008 [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: <http://www.autoznalosti.cz/index.php/podvozek-a-kola/12-pneumatiky-konstrukce.html>
- [14] *Konstrukce pneumatiky – diagonální/pevná/radiální. MAGNA TYRES* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://magnatyres.com/cs/konstrukce-pneumatiky-diagonalni-pevna-radialni/>
- [15] *Konstrukce, funkce a výroba pneumatiky. Pneuservis v Rokytnici* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <http://www.pneu-asistent.cz/Konstrukce-funkce-a-vyroba-pneumatiky.html>

- [16] *Technický popis pneumatiky. Vše o autech* [online]. [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <http://www.vseoautech.eu/pneumatiky/technicky-popis.htm>
- [17] *Technický rádce. Ráj pneu.cz* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://www.rajpneu.cz/technicky-radce/oznaceni-zkratky-a-nazev-pneumatik>
- [18] KRÁL, Jiří. *Značení zimních pneumatik. Pneumatiky.cz* [online]. 27.12.2019 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://www.pneumatiky.cz/znaceni-zimni-pneumatiky-t4>
- [19] DEML, Jakub. *Označování pneumatik se brzy změní. Takhle bude vypadat. GARÁŽ.CZ* [online]. 8.2.2021 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/oznacovani-pneumatik-se-brzy-zmeni-takhle-bude-vypadat-21005570>
- [20] *Informace o prořezávání nákladních pneumatik Michelin* [online]. 2007 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: [https://www.ddpneu.cz/index.php?route=product/product/download&download\\_id=239](https://www.ddpneu.cz/index.php?route=product/product/download&download_id=239)
- [21] *Protektorované pneumatiky. PNEULEADER* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://www.pneuleader.cz/poradenstvi-pneumatik/protektorovani-a-protektorovane-pneumatiky>
- [22] *Protektorované pneumatiky – spolehlivost i nízká cena. TipCars* [online]. 22. 5. 2007 [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://www.tipcars.com/magazin/nase-tema/protektorovane-pneumatiky-spolehlivost-i-nizka-cena.html>
- [23] CELJAK, Ivo. *Bližší pohled na pneumatiky. Mechanizace zemědělství* [online]. 19. 2. 2002 [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://www.mechanizaceweb.cz/blizsi-pohled-na-pneumatiky/>
- [24] SCHERLINZKY, Monika. *Tam, kde se letadlo dotýká země.... Inadhled* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://www.inadhled.cz/zajimavosti/tam-kde-se-letadlo-dotyka-zeme/>
- [25] *Aircraft Wheels and Tires. AeroToolbox* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://aerotoolbox.com/wheels-tires/>
- [26] ESCOBAR, Joe. *Understanding the basics of aircraft tire construction and maintenance. Aviationpros* [online]. 1. 5. 2010 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.aviationpros.com/aircraft/article/10388042/understanding-the-basics-of-aircraft-tire-construction-and-maintenance>
- [27] *Značení pneumatik. Michelin* [online]. 2012 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://transport.michelin.cz/Doporu%C4%8Den%C3%AD/Pr%C5%AFvodce-pneumatikami>
- [28] *Hankook nákladní pneumatiky. Hankook* [online]. 2013 [cit. 2021-4-27]. Dostupné z: <http://www.hankookpneu.cz/Userfiles/PageAttachments/326/2013%20Katalog%20n%C3%A1kladn%C3%AD%20pneu%20CZ.pdf>

- [29] *Goodyear – Pneumatiky pro nákladní vozidla. Goodyear* [online]. 2014 [cit. 2021-4-27]. Dostupné z: <https://m.rajpneu.cz/galerie/gp-20141017113252-Brochure-TTDB-2014-LU-CZ.pdf>
- [30] *Nákladní, autobusové a lehké užitkové pneu. Bridgestone* [online]. 2019 [cit. 2021-4-27]. Dostupné z: [http://www.sibom.cz/upload/akcni\\_nabidka/BS\\_TBR\\_Databook\\_BSCR-2019.pdf](http://www.sibom.cz/upload/akcni_nabidka/BS_TBR_Databook_BSCR-2019.pdf)
- [31] *Co jsou to nízkoprofilové pneumatiky. Oborudow.Ru* [online]. [cit. 2021-4-27]. Dostupné z: <https://oborudow.ru/cs/tyuning/plyusy-i-minusy-shin-s-vysokim-profilem-nizkoprofilnaya-rezina/>
- [32] *Všeobecné technické informace k PNEU. Pneuservis auto-moto* [online]. [cit. 2021-4-27]. Dostupné z: <https://www.pneuservis-scpmoto.cz/vseobecne-technicke-informace-k-pneu>
- [33] *Rozdělení typů dezénů a segmentace pneumatik. Mpneu.cz* [online]. [cit. 2021-4-27]. Dostupné z: <http://www.mpneu.cz/typypneumatik/http://www.mpneu.cz/typypneumatik/>
- [34] *Vícevrstvá struktura. Nokian Tyres* [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://www.nokiantyres.cz/inovace/vicevrstva-struktura/>
- [35] *What is the most important part of a racing car? Technical F1- Dictionary* [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: [http://www.formula1-dictionary.net/most\\_important.html](http://www.formula1-dictionary.net/most_important.html)
- [36] *Differences between road and racing tyres. Tyroola* [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://www.tyroola.com.au/blog/differences-between-road-and-racing-tyres/>
- [37] KILIÁN, Karel. *Michelin ukázal budoucnost pneumatik – obejdou se bez vzduchu a nepůjde je píchnout. VTM* [online]. 5. 6. 2019 [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://vtm.zive.cz/clanky/michelin-ukazal-budoucnost-pneumatik--obejdou-se-bez-vzduchu-a-nepujde-je-pichnout/sc-870-a-198752/default.aspx>
- [38] MAZAL, Mirek. *Goodyear představil pneumatiku budoucnosti, opravi ji jediná kapsle. Autoforum.cz* [online]. 6. 3. 2020 [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.autoforum.cz/predstaveni/goodyear-predstavil-pneumatika-budoucnosti-opravi-ji-jedina-kapsle/>
- [39] HENNING, Arri. *Motorcycle Tire Construction Explained. Motorcyclist* [online]. 1.5.2020 [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.motorcyclistonline.com/motorcycle-tire-construction-explained/>
- [40] BIRIS, Sorin Stefan, Atanas ATANASOV, Nicoleta UNGUREANU, M IONESCU a Bungescu SORIN. *Trends in tire construction for heavy agricultural vehicles* [online]. 13.6.2013 [cit. 2021-5-1]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/289377720\\_TRENDS\\_IN\\_TIRE\\_CONSTRUCTION\\_FOR\\_HEAVY\\_AGRICULTURAL\\_VEHICLES](https://www.researchgate.net/publication/289377720_TRENDS_IN_TIRE_CONSTRUCTION_FOR_HEAVY_AGRICULTURAL_VEHICLES)

- [41] *Choose an Application-Specific Construction Tire. NBM&CW* [online]. [cit. 2021-5-1]. Dostupné z: <https://www.nbmcw.com/articles-reports/others/others-products/choose-an-application-specific-construction-tire.html>
- [42] ASHTON, Danny. *The Evolution of the Wheel. Business 2 community* [online]. 19.1.2013 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://www.business2community.com/infographics/the-evolution-of-the-wheel-infographic-0381955>

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

$\alpha_k$	[°]	Úhel směrové úchylky
$F_{xK}$	[N]	Vodorovná síla ve středu kola vyvolaná reakcí valivého odporu kola
$F_{zK}$	[N]	Celková síla tíhy vozidla
$G_K$	[N]	Tíhová síla kola
$H_K$	[N]	Vodorovná síla reakce mezi vozovkou a pneumatikou
$M_K$	[N.m]	Reakční moment
$M_{Sk}$	[N.m]	Vratný moment pneumatiky
$n_s$	[mm]	Závlek pneumatiky
$S_k$	[N]	Boční vodící síla vzniklá reakcí ve stopě pneumatiky
$v_k$	[-]	Směr rychlosti
$x_k$	[mm]	Podélná osa kola
$Y_k$	[N]	Boční síla působící na pneumatiku
$y_k$	[mm]	Vychýlení stopy kola
$Z_K$	[N]	Svislé zatížení kola
$z_k$	[mm]	Svislá osa kola

## SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. 1 Časová osa vývoje kol.....	12
Obr. 2 Vulkanizace syntetického kaučuku .....	13
Obr. 3 Vrstvy kordových vláken [14].....	14
Obr. 4 Síly a momenty působící na kolo a) poháněné kolo; b) brzděné kolo [1].....	15
Obr. 5 Vznik boční vodící síly a) stojící kolo; b) valící se kolo [1] .....	16
Obr. 6 Závlek a vratný moment na valícím se kole [1] .....	17
Obr. 7 Konstrukce pneumatiky [11] .....	18
Obr. 8 Radiální konstrukce pneumatiky [14] .....	20
Obr. 9 Diagonální konstrukce pneumatiky [14] .....	20
Obr. 10 Superelastická konstrukce pneumatiky [14].....	21
Obr. 11 Tři základní typy desénů [17].....	23
Obr. 12 Hlavní části konstrukce desénu [17] .....	23
Obr. 13 Zóny desénu [15].....	24
Obr. 14 Označení hlavních rozměrů pneumatiky [1] .....	25
Obr. 15 Možné značení na pneumatice [17].....	26
Obr. 16 kód DOT a poslední čtyřčíslí datumu výroby [11] .....	28
Obr. 17 Nový štítek EU pro značení pneumatik [19].....	29
Obr. 18 TWI – indikátor opotřebení pneumatik [11] .....	29
Obr. 19 Prořezávání pneumatik [20] .....	31
Obr. 20 Označení náprav nákladních vozidel [27].....	32
Obr. 21 Typ flotační a industriální pneumatiky [23][40] .....	34
Obr. 22 Vzory desénu letecké pneumatiky [25] .....	36
Obr. 23 Druhy osobních pneumatik .....	37
Obr. 24 Přehled pneumatik Formule 1 [36].....	41
Obr. 25 Rozložení kontaktních bodů [18] .....	43
Obr. 26 Vicesměšové jednostopé pneumatiky [12].....	44
Obr. 27 Bezvzduchové pneumatiky Michelin [18] .....	45
Obr. 28 ContiSilent [11] .....	46
Obr. 29 Goodyear Eagle – 360 [11] .....	47
Obr. 30 Pneumatika Tiltread [36].....	47
Obr. 31 Pneumatika ReCharge Goodyear [38].....	48